

# **Evaluación de sostenibilidad del plan de inversiones municipales del Ayuntamiento de Sant Boi de Llobregat**

Trabajo realizado por:

**Natalia Pontón Tomaselli**

Dirigido por:

**Antonio Aguado De Cea**

Máster en:

**Ingeniería Ambiental**

Barcelona, 15 de junio de 2017

Escuela de caminos, canales y puertos

**TRABAJO DE FIN DE MÁSTER**



## ***AGRADECIMIENTOS***

Este Trabajo de Fin de Máster fue llevado a cabo con un equipo de la UPC como parte del proyecto “Desarrollo de un modelo matemático de priorización dinámica de inversiones heterogéneas utilizando criterios de desarrollo sostenible”.

Mi profundo agradecimiento a mi tutor Antonio Aguado, por darme la oportunidad de participar en este proyecto. A Pablo Pujadas por su paciencia y guía académica. A Albert Aguado, de Smart Engineering ,por compartir su tiempo y experiencia en el tema.

Mi gratitud con el estado ecuatoriano, a través de la Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Investigación y el Instituto de Fomento al Talento Humano por esta oportunidad invaluable de formación académica y personal.

A Joaquín y Fabrizio.

Barcelona, 15 de junio de 2017.

Natalia Pontón Tomaselli.



## CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Justificación.....	2
1.3. Objetivos.....	3
1.4. Metodología.....	3
2. ESTADO DEL ARTE.....	7
2.1. Proceso de toma de decisiones.....	7
2.2. Técnicas de análisis de base monetaria (TBA).....	10
2.2.1. Análisis financiero (FA).....	11
2.2.2. Análisis costo-efectividad (CEA).....	12
2.2.3. Análisis costo-beneficio (CBA).....	13
2.3. Técnicas de Análisis de Decisiones Multicriterio (MCDA).....	15
2.3.1. Teoría de la utilidad multiatributo (MAUT).....	16
2.3.2. Proceso Analítico Jerárquico (AHP).....	18
2.3.3. Métodos de relaciones de sobreclasificación ( <i>Outranking Retation Theory</i> , ORT).....	20
2.3.4. Métodos MCA basados en conjuntos difusos ( <i>Fussy</i> ).....	21
2.3.5. Modelos de ponderación lineal ( <i>Scoring</i> ).....	22
2.3.6. Método integrado de valor para evaluaciones sostenibles (MIVES).....	22
2.4. Análisis comparativo de métodos de toma de decisiones.....	23
2.5. Indicadores de ciudad en la gestión pública.....	24
2.5.1. Indicadores e índices de sostenibilidad.....	26
3. MODELO INTEGRADO DE VALOR PARA EVALUACIONES SOSTENIBLES (MIVES).....	33

3.1. Descripción general del método.....	33
3.2. Descripción de las fases de la metodología MIVES.....	35
3.2.1. Delimitación de la decisión.....	35
3.2.2. Construcción del árbol de decisión.....	35
3.2.3. Asignación de pesos mediante el proceso analítico jerárquico (AHP).....	36
3.2.4. Construcción de la función de valor.....	40
4. ÍNDICE DE SOSTENIBILIDAD PARA LA PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES PUBLICAS EN AYUNTAMIENTOS DE HASTA 100.000 HAB.....	45
4.1. Delimitación de la decisión, límites del sistema y condiciones de contorno.....	46
4.2. FASE I: Homogeneización de las Inversiones (HI).....	47
4.2.1. Contribución al Equilibrio Territorial (CET).....	48
4.2.2. Abasto de la actuación (AbA).....	51
4.2.3. Alineación de la actuación con los ejes estratégicos de la ciudad: Valores Sant Boi (VSB).....	53
4.2.4. Evaluación de la Situación Previa (ESP).....	55
4.2.5. Cuantificación de la Homogeneización de Inversión (HI).....	58
4.3. FASE II: Evaluación de la Sostenibilidad de las Inversiones.....	60
4.3.2. Requerimiento ambiental.....	67
4.3.3. Requerimiento social.....	70
4.3.4. Asignación de pesos FASE II.....	79
5. CASO DE ESTUDIO: SANT BOI DEL LLOBREGAT.....	83
5.1. Validación de la metodología MIVES-ISPIM.....	83
5.1.1. Recopilación de información.....	85
5.1.2. Resultados FASE I: Homogeneización de la inversión (HI).....	86
5.1.3. Resultados FASE II.....	87
5.1.4. Priorización de Inversiones Municipales.....	89

---

5.2. Estudio de Sensibilidad.....	90
5.2.1. Estudio de Sensibilidad Fase I.....	90
5.2.2. Estudio de Sensibilidad Fase II.....	92
6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	95
6.1. Discusión.....	95
6.2. Conclusiones.....	96
BIBLIOGRAFÍA.....	99
ANEXOS.....	103
ANEXO 1. FICHAS DE EVALUACIÓN DE LAS INVERSIONES MUNICIPALES. .....	105
ANEXO 2: PLANOS DE LOS DISTRITOS DE SANT BOI DE LLOBREGAT.....	107

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Enfoques de clasificación de las metodologías para la toma de decisiones.....	8
Tabla 2.2. Técnicas de toma de decisiones.....	10
Tabla 2.3. Comparación cualitativa de algunos métodos de toma de decisiones.....	24
Tabla 2.4. Relación de indicadores e índices de ciudad.....	31
Tabla 3.1. Fases procedimentales del MIVES.....	34
Tabla 3.2. Matriz de decisión.....	37
Tabla 3.3. Índice aleatoriedad (I.A).....	40
Tabla 3.4. Escala de Saaty.....	40
Tabla 3.5. Valores típicos para P, K y C en funciones de valor.....	44
Tabla 4.1. Nivel de clasificación isPIM.....	46
Tabla 4.2. Principales características demográficas y económicas de los distritos de Sant Boi de Llobregat.....	49
Tabla 4.3. Contribución al equilibrio territorial por distrito.....	50
Tabla 4.4. Puntuaciones de los atributos para Porción Sant Boi Servida, PSBS.....	52
Tabla 4.5. Puntuaciones de los atributos para Relevancia de la inversión, ReI.....	52
Tabla 4.6. Puntuaciones de los atributos para Estado Actual de la Actuación, EsA.....	53
Tabla 4.7. Puntuaciones de los atributos para Alineación Ejes Sant Boi, ASB.....	54
Tabla 4.8. Puntuaciones de los atributos para Condiciones del SA: EsC, GrP, ObT.....	56
Tabla 4.9. Puntuaciones de los atributos para Saturación Servicio Actual, SAA.....	57
Tabla 4.10. Comparación entre pares de atributos, Fase I.....	58
Tabla 4.11. Resultados de la asignación de pesos de la Fase I.....	60
Tabla 4.12. Puntuaciones de los atributos para Variación de los gastos de explotación, VEx.....	64
Tabla 4.13. Puntuaciones de los atributos para Co-financiamiento: PrF, CaF.....	66



Tabla 4.14. Puntuaciones de los atributos para Contribución al Medio Ambiente (CMA)	69
Tabla 4.15. Puntuaciones de los atributos para Variación de la calidad en bienestar, VCB.....	71
Tabla 4.16. Puntuaciones de los atributos para s Variación de la Capacidad, VCA.....	74
Tabla 4.17. Puntuaciones de los atributos para Creación de puestos de trabajo, CPT...	76
Tabla 4.18. Puntuaciones de los atributos para Grado de aceptación social GAS: PrC y AcS.....	78
Tabla 4.19. Comparación entre pares de atributos, Fase I.....	80
Tabla 4.20. Resultados de la asignación de pesos de la Fase II.....	81
Tabla 5.1. Inversiones del PIMs incluidas en este estudio.....	85
Tabla 5.2. Clasificación de inversiones por Índice de Sostenibilidad para priorización.	90
Tabla 5.3. Escenarios planteados para el Estudio de Sensibilidad de la Fase I.....	91
Tabla 5.4. Escenarios planteados para el Estudio de Sensibilidad de la Fase II.....	92

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Metodología del trabajo de fin de máster.....	5
Figura 2.1. Enfoques de apoyo a la toma de decisiones.....	9
Figura 3.1. Niveles que conforman el árbol de decisión.....	36
Figura 3.2. Formas de funciones de valor.....	42
Figura 3.3. Función de valor generada por un grupo de tomadores de decisiones.....	43
Figura 4.1. Árbol de requerimientos Fase I.....	47
Figura 4.2. Obtención del factor Contribución al Equilibrio Territorial CET.....	50
Figura 4.3. Distribución espacial de Distritos de Sant Boi de Llobregat.....	51
Figura 4.4. Arbol de requerimientos Fase II.....	61
Figura 4.5. Función de valor del indicador CUA.....	63
Figura 4.6. Función de Valor del indicador VEx.....	65
Figura 4.7. Función de valor del indicador FEL.....	67
Figura 4.8. Función de valor CMA.....	70
Figura 4.9. Función de valor VCA.....	72
Figura 4.10. Función de Valor VCA.....	75
Figura 4.11. Función de valor CPT.....	77
Figura 4.12. Función de valor ACS.....	79
Figura 5.1. Ficha de recopilación de información ISPIM Sant Boi de Llobregat.....	86
Figura 5.2. Homoeneización de Inversión.....	87
Figura 5.3. Homogeneización de la inversión por factores.....	87
Figura 5.4 ISPIM por requerimientos.....	88
Figura 5.5. ISPIM agregado por requerimientos y HI total.....	88
Figura 5.6. Priorización de inversiones por ISPIM.....	89
Figura 5.7. Varición de HI por alternativa para tres escenarios distintos.....	91

Figura 5.8. Variación de valor del ISPIM por alternativa para tres escenarios distintos	92
Figura 5.9. Variación de la prioridad por ISPIM para tres escenarios distintos.....	93



## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Introducción.

Las inversiones públicas suelen ser motivo de cuestionamientos por parte de la sociedad, desde la real necesidad de su ejecución hasta la forma en que esta necesidad se planea satisfacer. Por otro lado, los gobiernos aspiran a tomar las decisiones que sean, no solo beneficiosas para la sociedad que sirven, sino también satisfactorias desde otros puntos de vista, principalmente, el económico. Invertir el dinero público de forma efectiva es una meta innegable para los gobiernos, y utilizar una metodología objetiva permite acercarse a esta meta, y transparentar el proceso de toma de decisiones.

Debido a la naturaleza diversa de las inversiones públicas (infraestructura, programas culturales, servicios), la toma de decisiones sobre su implementación resulta compleja. Si bien las características económicas de los proyectos de inversión han sido el criterio dominante a la hora de decidir su realización, cada vez es más evidente que se requiere incorporar otras perspectivas que garanticen cumplir el fin principal de las inversiones públicas que es la satisfacción y bienestar de la población. Así, considerar los elementos sociales y ambientales de los proyectos en la toma de decisiones, permite tener una visión más global de su verdadero impacto en el territorio y la sociedad, y prepara el camino para lograr el desarrollo urbano sostenible.

Este trabajo de fin de máster busca aplicar una metodología multicriterio para el análisis y priorización de proyectos del Plan de Inversiones Municipal de un Ayuntamiento con una población de alrededor de 100,000 habitantes, desde el punto de vista de la sostenibilidad. Para ello, se realiza un estudio de las diferentes técnicas desarrolladas para la toma de decisiones, y se escoge la que se considera más completa (Método Integrado de Valor para la Evaluación de Sostenibilidad, MIVES) para aplicar en el caso particular de

este estudio. Los criterios de toma de decisiones (requerimientos, criterios, indicadores), su jerarquía (pesos) y las inversiones que se han sometido a este estudio, han sido definidas junto a técnicos del Ayuntamiento de Sant Boi de Llobregat, que en este caso, son los decisores.

El presente trabajo se enmarca en el proyecto “Desarrollo de un modelo matemático de priorización dinámica de inversiones heterogéneas utilizando criterios de desarrollo sostenible” financiado por la Agencia de Gestión de Ayudas Universitarias y de Investigación (AGAUR) y la Escuela de Administración Pública de Cataluña (EAPC). El proyecto busca incorporar el concepto de sostenibilidad en la toma de decisiones en materia de inversiones, en instituciones comprometidas con el desarrollo sostenible.

## **1.2. Justificación.**

A pesar del reconocimiento casi universal de que las ciudades y comunidades sostenibles son una meta política deseable, hay menos certeza acerca de lo que esto podría significar en la práctica (Bulkeley & Betsill, 2005). Las realidades del proceso de planificación urbana demuestran la dificultad de incorporar el principio de desarrollo sostenible al ámbito local, y como resultado, el número de iniciativas fallidas supera considerablemente los ejemplos de buenas prácticas disponibles (Echebarría & Moralejo, 2003; Wallbaum et al., 2011).

En este contexto, la aplicación de una metodología de toma de decisiones que permita contemplar los requerimientos sociales, económicos y ambientales de los proyectos de inversión resulta una herramienta útil para que las ciudades evolucionen hacia la sostenibilidad.

La metodología propuesta, que evalúa los proyectos de inversión a través de la obtención de un Índice de Sostenibilidad, ya ha sido probada en el Ayuntamiento de Barcelona y en la Generalitat de Catalunya (Pujadas et al., n.d.). En este caso, el método se adaptará a las necesidades y realidad de un Municipio de 82,000 habitantes ubicado dentro del área metropolitana de Barcelona.

Se trata del Ayuntamiento de Sant Boi de Llobregat, que realizará una evaluación de su Plan de Inversiones utilizando el Método Integrado de Valor para la Evaluación de Sostenibilidad, una herramienta multicriterio que permitirá analizar, evaluar, y priorizar, un conjunto de iniciativas municipales.

### 1.3. Objetivos.

#### Objetivo general.

Obtener el Índice de Sostenibilidad de los proyectos del Plan de Inversiones Municipales del Ayuntamiento de Sant Boi de Llobregat utilizando el Método Integrado de Valor para la Evaluación de Sostenibilidad para priorizar las inversiones más sostenibles.

#### Objetivos específicos.

- Realizar un análisis comparativo de los diferentes métodos de análisis para la toma de decisiones.
- Analizar los indicadores de sostenibilidad de ciudades para asimilarlos a la metodología y evaluación a realizar.
- Plantear una metodología de evaluación de sostenibilidad, adaptada a las necesidades y consideraciones de sostenibilidad de un Ayuntamiento con una población menor a 100,000 habitantes.
- Realizar la validación del método desarrollado, obteniendo el Índice de Sostenibilidad del Plan de inversiones Municipales del Ayuntamiento de Sant Boi de Llobregat.
- Realizar el análisis de sensibilidad de la metodología planteada.

### 1.4. Metodología.

El presente trabajo se ha desarrollado en seis capítulos en los que se muestra una línea metodológica a partir del conocimiento previo existente en el área de toma de decisiones, para llegar a la aplicación de la metodología para aplicarla en un caso particular.

En la introducción se describe y justifica la importancia de tener el uso de técnicas de toma de decisiones para establecer qué inversiones son más favorables de ser ejecutadas por las instituciones públicas. Además, se justifica la necesidad de las ciudades de orientarse en el camino de la sostenibilidad como enfoque de desarrollo.

En el estado del arte se describen las principales metodologías que han sido utilizadas para tomar decisiones sobre inversiones públicas, como son las técnicas de base monetaria y las técnicas multicriterio.

En el capítulo 3 se describe de forma amplia la metodología MIVES, que resulta de una compilación de varias de las técnicas multicriterio descritas.

En el capítulo 4 se describe la adaptación de la metodología MIVES al caso particular planteado. Este capítulo se desarrolló mediante reuniones interactivas entre el grupo de trabajo de la Universidad Politécnica de Cataluña y los delegados del Ayuntamiento, para plantear los criterios e indicadores que se ajustan a sus elementos de toma de decisión, y la definición de la importancia relativa de cada uno.

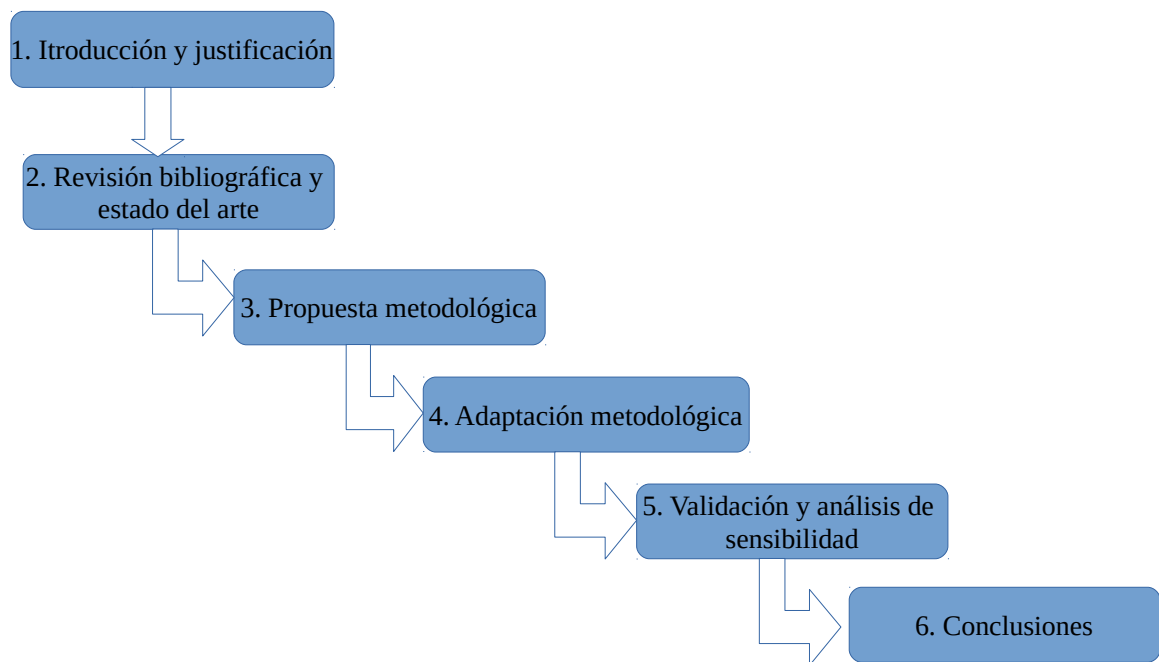
En el capítulo 5: Caso de Estudio, se presentan la validación de la metodología desarrollada y los resultados obtenidos al evaluar treinta inversiones municipales del Ayuntamiento de Sant Boi de Llobregat. Luego se presenta análisis de sensibilidad que valida el método, ejecutando la misma metodología en unos escenarios diferentes a los planteados por los tomadores de decisiones de este caso particular, y examinando las posibles variaciones en los resultados.

Finalmente se discuten los resultados y se establecen conclusiones que responden a los objetivos específicos planteados.

Los pasos que se han tomado para llevar adelante el estudio son los siguientes:

- Revisión de la bibliografía existente y definición del estado del arte de las técnicas de toma de decisiones
- Propuesta metodológica y adaptación al caso de estudio mediante reuniones con los delegados del Ayuntamiento: definición del sistema de homogeneización y de evaluación de sostenibilidad.
- Validación de la metodología mediante el desarrollo del caso práctico, y análisis de sensibilidad.
- Discusión y Conclusiones.





*Figura 1.1. Metodología del trabajo de fin de máster*



## 2. ESTADO DEL ARTE.

### 2.1. Proceso de toma de decisiones.

Es común que los individuos se encuentran ante diferentes alternativas entre las que deben seleccionar la que, a su juicio, parece mejor o satisface el mayor número de necesidades. Los responsables de tomar estas decisiones deben considerar intereses contrapuestos, incertidumbre, involucrar a distintas personas en la decisión y considerar elementos cuya valoración no siempre es factible (Casanovas, 2009). Una buena decisión es aquella en la que se ha trazado el objetivo que se quiere conseguir, se ha reunido toda la información relevante y se han tenido en cuenta las preferencias del decisor (Leon, 2001).

Normalmente, el proceso de toma de decisiones sigue una secuencia lógica (Dodgson et al., 2009):

- Identificar los objetivos: específicos, medibles, dependientes del tiempo.
- Identificar las opciones para lograr los objetivos, con el mayor detalle posible.
- Identificar los criterios de comparación de las opciones, que dependerán del decisor.
- Analizar las opciones aplicando la técnica más apropiada de entre las disponibles.
- Hacer elecciones.
- Hacer una retroalimentación.

La ciencia de la decisión es un campo de investigación muy amplio debido a la diversidad y complejidad de los problemas a analizar. Una clasificación de los problemas de toma de decisiones desde varios enfoques se muestra en la Tabla 2.1.

Tipos de problemas de toma de decisión		Descripción
Según la naturaleza de las alternativas	Discretos	Implican el análisis de un conjunto discreto de alternativas. Cada alternativa se describe con varios atributos, que dentro del contexto de toma de decisiones, tienen la forma de criterios de evaluación
	Continuos	El número de alternativas posibles es infinito (por ejemplo, la asignación de recursos) Se delinea la región donde se encuentran las alternativas (región factible), de manera que cada punto en esta región corresponda a una alternativa específica
Según su certidumbre	Con certidumbre	Se conoce la naturaleza de las alternativas El decisor conoce sus preferencias
	Con riesgo	Existe un factor probabilístico de ocurrencia ligado a las alternativas
Según los criterios de decisión	Monocriterio	Existe un único criterio de análisis para la toma de decisión
	Multicriterio	Los criterios de decisión son múltiples Muchas veces, estos criterios están en conflicto

Tabla 2.1. Enfoques de clasificación de las metodologías para la toma de decisiones

Fuente: Doumpos & Zoppounidis (2004); Casanovas (2009)

Cuando se considera un problema discreto de toma de decisiones, el análisis que se lleva a cabo no necesariamente conduce a la “elección” de una o varias opciones. Roy (1985) establece cuatro tipos de enfoques, que se pueden utilizar como apoyo para los tomadores de decisiones (ver Figura 2.1):

- Elegir: identificar la mejor alternativa o un rango limitado de las mejores alternativas.
- Categorizar: ordenar las alternativas de la mejor a la peor.
- Clasificar/ordenar: ubicar las alternativas en grupos homogéneos predefinidos.
- Describir: Identificar las características distintivas de las alternativas.

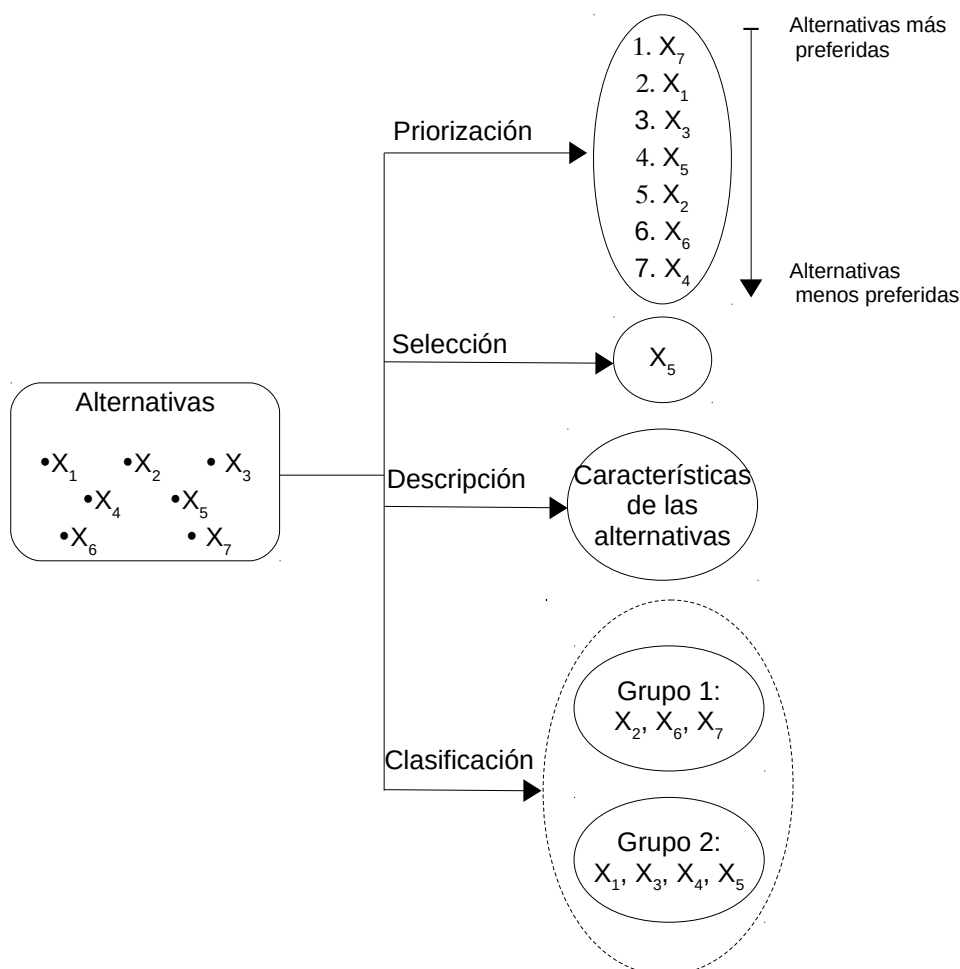


Figura 2.1. Enfoques de apoyo a la toma de decisiones.

Fuente: Adaptado de Doumpos & Zoppounidis (2004)

El principal papel de las técnicas de análisis para la toma de decisiones es hacer frente a las dificultades que los decisores pueden tener en el manejo de información amplia y compleja, de manera coherente. El procedimiento debe ser racional, secuencial y repetible, y deben además ser defendibles, es decir, los datos, los criterios y las medidas de desempeño que permiten a entidades externas evaluar y validar el proceso, deben ser transparentes (Trigueros, 2008).

Las técnicas que se describirán a continuación se han agrupado en técnicas de análisis monetario, métodos de análisis multicriterio y métodos de ponderación de variables o asignación de pesos (Tabla 2.2).

Métodos de análisis para toma de decisiones		Siglas	Fuente
De base monetaria (TBA)	Análisis Financiero	FA	
	Análisis Costo-efectividad	CEA	United State Department of Defense (1950); Hitch y McKean (1960).
	Análisis Costo-beneficio	CBA	
Multicriterio (MCDA) y de ponderación de variable	Teoría de utilidad multiatributo	MAUT	Von Neumann y Morgenstern (1944); Keeney y Raiffa (1976)
	Modelos de ponderación lineal		
	Proceso de análisis jerárquico	AHP	Saaty, T. L. (1980)
	Métodos de relaciones de sobreclasificación o superación	ORT	Roy, B. (1985)
	Métodos basados en conjuntos difusos		Bellman y Zadeh (1970)
	Método integrado de valor para evaluaciones sostenibles	MIVES	Viñolas Prat et al. (2009)

Tabla 2.2. Técnicas de toma de decisiones.

## 2.2. Técnicas de análisis de base monetaria (TBA).

Son técnicas que se basan en un análisis económico de los impactos de las alternativas analizadas. Las principales técnicas de análisis de base monetaria son análisis financiero (FA), análisis costo-efectividad (CEA), y análisis costo-beneficio (CBA).

De acuerdo a Commonwealth of Australia, 2008 (Commonwealth of Australia, 2006), estas técnicas comparten algunos enfoques, sin embargo, se puede adelantar las siguientes aplicaciones para cada una de ellas:

- FA proporciona una guía adecuada para la viabilidad social de una propuesta cuando los mercados son competitivos y la mayoría de los costos y beneficios se reflejan en los precios de mercado.
- CEA es útil cuando los beneficios de una propuesta son difíciles de cuantificar en términos monetarios, pero es necesario conocer qué opción alcanzará los beneficios sociales o los objetivos gubernamentales de manera más rentable.

- CBA se aplica cuando los mercados o los precios no reflejan adecuadamente todos los costos y beneficios de una propuesta.

### **2.2.1. Análisis financiero (FA).**

Consiste en analizar los impactos de la inversión en el presupuesto de la entidad que lo promueve. Si los impactos son a largo plazo, los impactos netos anuales deben ser descontados a un valor actual. Esto se aplica de igual manera al análisis de rentabilidad y al análisis costo-beneficio.

El análisis financiero tiene por objeto utilizar las previsiones de flujos de caja del proyecto para calcular tasas de rendimiento, en particular, la tasa de rendimiento financiero (TIRF) sobre el coste de la inversión (TIRF/C) y sobre el capital (TIRF/K), así como el valor actual neto financiero correspondiente (VANF). El análisis financiero debe recoger : inversión total, gastos e ingresos de explotación, fuentes de financiación y análisis de flujos de caja para determinar sostenibilidad económica (Fondos Estructurales et al., 2003).

Los elementos indispensables del análisis financiero son los siguientes:

- Horizonte temporal: número máximo de años para el cual se tiene previsiones del proyecto.
- Coste total: suma de costes de inversión y de explotación. Únicamente se consideran costes reales monetarios, excluyendo depreciación, amortización y reserva.
- Ingresos generados: cuando los proyectos pueden generar ingresos por venta de bienes y servicios.
- Valor residual de la inversión: deudas, activos remanentes. Este valor tiene signo contrario a los costes, ya que representan una entrada en el flujo.
- Inflación: las oscilaciones de los precios relativos pueden ser significativas en el cálculo del rendimiento financiero de la inversión, por tanto es necesario considerar su variación relativa anual.
- Verificación de la sostenibilidad financiera: si el flujo de caja neto acumulado es positiva todos los años considerados.
- Elección de la tasa de descuento para actualizar los flujos financieros y calcular el valor actual neto.

- Determinación de los principales indicadores de resultados: Tasa interna de rendimiento financiero, o Valor actual neto del proyecto.
- Determinación de la tasa de co-financiación: Se utiliza cuando existe un organismo que subvenciona o co-financia una parte del proyecto, como es el caso de Unión Europea (Fondos Estructurales et al., 2003).

Si bien el Análisis Financiero puede ser en sí mismo un método de toma de decisión desde la perspectiva económica, los cálculos de costos constituyen la base de otros métodos como el CEA y CBA, que se describirán más adelante.

Posibles desventajas del Análisis Financiero son que no considera la perspectiva de los beneficiarios de la inversión, y deja fuera del análisis las externalidades de los proyectos: beneficios y costos sociales y ambientales

### **2.2.2. Análisis costo-efectividad (CEA).**

Busca identificar la alternativa que, con el menor costo, alcance el resultado buscado, permitiendo a la sociedad utilizar sus recursos de manera más efectiva (Levin, 1995). Con esta metodología, los costos se expresan en unidades monetarias, pero los beneficios asociados, al ser difíciles de monetizar, se expresan mediante otros indicadores, llamados unidades de efectividad. Al enfocarse hacia la medición de beneficios no monetarios, el CEA es particularmente útil en áreas como salud, seguridad de accidentes y educación (Commonwealth of Australia, 2006).

$$\text{Coeficiente Coste-efectividad} = \text{Coste Total} / \text{Unidades de efectividad}$$

Las unidades de efectividad son una medida de cualquier resultado cuantificable de los objetivos del programa analizado. Por ejemplo, un programa de prevención de la deserción escolar probablemente consideraría el número de abandonos impedidos, como el resultado más importante; mientras un programa de salud podría considerar el número de vidas salvadas, como su indicador de efectividad. Usando la fórmula, el coeficiente coste-efectividad se expresaría, para el último ejemplo, como euros por vida salvada. Comparando los coeficientes coste-efectividad de diferentes programas que tengan este mismo fin, es posible conocer qué opción representa menor coste por cumplimiento de objetivos (Cellini & Kee, 2010)

Para llevar a cabo el análisis económico, que es básicamente común para el caso de CBA y CEA, es necesario seguir los siguientes pasos (Johns, 2014):



1. Establecer el marco para el análisis. ¿Debe ser un CBA o un CEA? ¿Un análisis prospectivo (ex ante), actual (en medias res) o retrospectivo (ex post)?.
2. Definir la línea base: costos y beneficios a considerar, identificar las partes interesadas y el alcance geográfico.
3. Identificar y estimar los costos y beneficios. Cuando es posible, los costos de mercado serán usados. Cuantificar los beneficios más importantes en términos de unidades de efectividad. Considerar cómo los costos y beneficios pueden cambiar a lo largo del ciclo de vida del proyecto.
4. Calcular la relación costo-efectividad dividiendo los costos de valor presente por las unidades de efectividad.
5. Realizar análisis de sensibilidad. Probar supuestos y escenarios alternativos, y determinar su impacto en el análisis.
6. Hacer una recomendación donde sea apropiado. Mostrar claramente los supuestos y consideraciones que se dejaron fuera del análisis, para llegar a esta recomendación.

Algunas desventajas que se pueden asociar a esta técnica son:

- No permite analizar alternativas que consigan distintos objetivos.
- No permite discriminar la calidad con la que se alcanza un determinado objetivo.
- No incluye las preferencias de la sociedad, en el análisis .
- Los resultados pueden ser difíciles de interpretar cuando existen múltiples medidas de efectividad .
- No permite juzgar el valor absoluto de una sola alternativa: sólo es útil para comparar dos o más alternativas

### **2.2.3. Análisis costo-beneficio (CBA).**

Esta metodología se realiza desde la perspectiva de la sociedad en su conjunto, y evalúa la contribución de un proyecto al bienestar económico de la región o del país considerados, recogiendo los costes y beneficios sociales que deja fuera del análisis el análisis financiero (Fondos Estructurales et al., 2003). Al igual que el CEA, el CBA identifica y coloca los valores en dólares en los costos de los programas, pero va más allá,

ponderando esos costos en relación con el valor monetario de los beneficios de la inversión o programa analizado. Normalmente, los analistas sustraen los costos de los beneficios para obtener los beneficios netos de la póliza (si los beneficios netos son negativos, se denominan costos netos) (Cellini & Kee, 2010) :

$$\text{Beneficios netos} = \text{Beneficios totales} - \text{Coste total}$$

El procedimiento necesario para llevar a cabo un CEA es válido para el CBA, pero, como se ha mencionado antes, la cuantificación de los beneficios, se traduce a unidades monetarias. Estas valoraciones, usualmente se basan en la disposición a pagar y la voluntad de aceptación de la compensación por los efectos o impactos de una opción.

La valoración por la disposición a pagar, tiene que ver con el pago que un beneficiario estaría dispuesto a realizar por los beneficios que recibirían de una opción. La valoración por aceptación de compensación, es la disposición que tendrían los potenciales afectados a aceptar una compensación por las pérdidas que sufrirían (Dodgson et al. , 2009).

En principio, un proyecto se considerará favorable si los beneficios exceden las pérdidas, descontadas con el tiempo. Esto se conoce como el principio de compensación potencial, ya que normalmente no se pagará la compensación.

Para la valoración monetaria de los efectos ambientales de una opción, existen dos métodos ampliamente utilizados: los precios hedónicos y la preferencia declarada.

- Las técnicas de precios hedónicos (preferencia revelada) usan valoraciones de mercado, como los precios de la vivienda, que pueden contener información sobre los valores de las personas para otras características como la calidad ambiental, y tratar de separar el componente ambiental usando técnicas estadísticas.
- Los métodos de preferencia declarada buscan valoraciones más directas de los efectos ambientales por parte del consumidor, preguntando a los individuos sobre su voluntad de pagar o la voluntad de aceptar una compensación por ciertos cambios en la calidad ambiental (Dodgson et al., 2009).

En la práctica, dado que la disposición a pagar y la voluntad de aceptar dependerán en parte de los ingresos de las personas, aplicarlo resulta complejo, ya que requiere ponderar las ganancias y pérdidas de acuerdo a las diferencias de ingresos.

Como herramienta para guiar las políticas públicas, se pueden mencionar las siguientes ventajas:

- Considera los efectos económicos (ganancias y las pérdidas), de los miembros de la sociedad en cuyo nombre se está llevando a cabo el análisis.
- Valora los impactos en términos de dinero, y por lo tanto, puede mostrar que la implementación de una opción vale la pena en relación con la no implementación.
- Se pondera la importancia relativa de los diferentes impactos en función de las preferencias de las personas.
- Se pueden evaluar alternativas que cumplen diferentes objetivos.

Por otro lado, sus limitaciones son las siguientes:

- Dificultad para obtener información de costos precisa y detallada. No todos los impactos pueden ser valorados de forma monetaria, en algunos casos los datos no están disponibles o es muy costoso obtenerlos.
- Generalmente no tiene en cuenta las interacciones entre los diferentes impactos.

### **2.3. Técnicas de Análisis de Decisiones Multicriterio (MCDA).**

Se llama MCDA a una colección de teorías, metodologías y técnicas, que tratan problemas de decisión, en los que se debe elegir entre un conjunto de alternativas, teniendo en cuenta distintos criterios o puntos de vista, que suelen estar en conflicto, ya que cuando se intenta encontrar una buena solución desde unos puntos de vista, dicha solución es peor que otra solución, respecto a otros puntos de vista (Casanovas, 2009).

Las MCDA pueden utilizarse para identificar una opción mejor, clasificar las opciones, enumerar un número limitado de opciones para una evaluación detallada posterior, o distinguir las posibilidades aceptables de las inaceptables. Su fundamento es la elección de objetivos, criterios, pesos y evaluaciones de los objetivos por parte de los decidores, aunque también se pueden incluir datos objetivos como los precios observados (Dodgson et al., 2009).

Estos métodos, lejos de ser considerados elementos infalibles y certeros, son una base, sustentada en elementos científicos, que permite tomar decisiones basadas en componentes cuantificables, ponderar el riesgo y, en virtud de ello, hacer una elección que, en el mejor de los casos, resulta ser la más satisfactoria, y en el peor, la menos insatisfactoria (Berumen & Llamazares, 2007).

Entre las ventajas de los MCDA sobre juicios sin soporte analítico, se puede mencionar :

- Los objetivos y criterios pueden adaptarse a diferentes circunstancias.
- Las puntuaciones y ponderaciones se realizan con técnicas establecidas.
- El desempeño del método puede ser evaluado por terceros, por lo que no necesariamente debe quedar en manos del propio cuerpo de toma de decisiones.
- Pueden constituir un importante medio de comunicación dentro de la institución de toma de decisiones, y entre ese organismo y la comunidad.

### **2.3.1. Teoría de la utilidad multiatributo (MAUT).**

La Teoría de la Utilidad Multiatributo (*Multiple Attribute Utility Theory*, MAUT), consiste en conseguir puntajes numéricos para comunicar el mérito de una opción en comparación con otras en una sola escala. Para ello se desarrolla una función parcial para cada atributo, de acuerdo con las preferencias de las personas responsables de tomar las decisiones, que luego pueden resumirse o promediarse mediante un método de ponderación que favorece a unos criterios con mayor intensidad que otro (Kiker et al., 2005).

Cuando el problema se plantea en un ambiente de certidumbre y se conocen los impactos de cada acción, la función de preferencia se denomina “función de valor”; al contrario, cuando el ambiente es de incertidumbre, pero el decisor es capaz de asignar probabilidades a los impactos de las acciones, la función se denomina “función de utilidad”. Estas funciones representan la medida de satisfacción del decisor con respecto a la respuesta que produce una alternativa a un indicador. En el caso de un criterio cuantitativo, se dispone de una medida real, pero no debe confundirse ésta con la respuesta de la función, o escala de preferencia. La utilidad o el valor, son la expresión de las preferencias psicológicas reales del decisor, y son éstas las que sirven en la toma de decisiones (Casanovas, 2009). Al determinarse la utilidad o valor de cada una de las alternativas, se consigue una ordenación del conjunto de las alternativas que intervienen en el proceso.

El principio de racionalidad de la teoría de la utilidad multiatributo, se basa en los siguientes principios (Kiker et al., 2005):

- Si se interroga al decisor sobre sus preferencias, sus respuestas serán coherentes con la función valor, que no es conocida a priori. Esta función se deberá estimar mediante una serie de preguntas al decisor.
- Todo par de alternativas A1 y A2 pueden ser comparadas, de modo que para todo par de alternativas se tiene alguno de estos resultados: El resultado A1 es preferido al resultado A2 ( $A1 > A2$ ); A1 es indiferente a A2 ( $A1 \sim A2$ ); A2 es preferido al resultado A1 ( $A2 > A1$ ).
- El orden de preferencia es transitivo, es decir, si se prefiere A1 a A2 y se prefiere A2 a A3, entonces se prefiere A1 a A3.

Ríos-Insua & Ríos-Insua (1989) proponen la siguiente metodología general para construir la función de valor:

- 1) Verificar las condiciones de existencia de la función de valor.
- 2) Seleccionar la forma más adecuada de la función de valor: lineal, convexa, cóncava, en "S".
- 3) Construir la función de valor a partir de la estructura preferencial revelada por el decisor: definir tendencia y función matemática
- 4) Contrastar la coherencia de la representación de las preferencias.

Para determinar la función de valor, existen diversos métodos, algunos definen varios puntos de la función de valor a partir de los cuales interpolan (algunos métodos de este tipo son: de las razones, de las categorías, de la bisección, de la solubilidad, evaluación directa), otros utilizan expresiones matemáticas previamente definidas (métodos de normalización de las evaluaciones, expresión de la herramienta MIVES, función tangente hiperbólica) (Casanovas, 2009).

Es necesario definir la escala de medida del valor, frecuentemente se mide entre 0 y 1, pero se pueden tomar otros valores, incluyendo los negativos. Los valores de las alternativas se sitúan en posiciones notables de la escala de la función de valor. Generalmente se comienza por situar la peor alternativa y después la mejor, lo que aporta los puntos extremos de la escala. A continuación se sitúan las otras alternativas teniendo en cuenta las diferencias de preferencias.

Luego de definir las funciones de valor, se debe medir la utilidad de una alternativa respecto a cada criterio. Los valores numéricos resultantes deben ser organizados según las preferencias del decisor para lo cual se deberá agregar las utilidades parciales para obtener

la utilidad global de las alternativas. Los principales métodos para realizar esta agregación son la suma ponderada y el producto ponderado. En ambos casos, se debe utilizar previamente la asignación de pesos, utilizando algún método de ponderación de variables.

### **2.3.2. Proceso Analítico Jerárquico (AHP).**

El Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process, AHP), es un instrumento de decisión multicriterio que permite trasladar la realidad percibida por el individuo, a una escala de razón que refleje las prioridades relativas de los elementos analizados (Berumen & Llamazares, 2007). La complejidad de un problema de toma de decisiones multicriterio se puede resolver representándolo como una jerarquía de diferentes niveles relacionados entre sí de forma unidireccional. El nivel superior de la jerarquía es el objetivo global, mientras el nivel inferior está formado por las alternativas a evaluar, y los niveles intermedios son los criterios y subcriterios tangibles y/o intangibles respecto a los que se evalúan las alternativas. El diseño de la jerarquía requiere experiencia y conocimiento del problema, por lo que es imprescindible disponer de toda la información necesaria (Casanovas, 2009)

El proceso AHP también desarrolla un modelo aditivo lineal, y utiliza procedimientos para asignar los pesos y las puntuaciones para las alternativas, que se basan en comparaciones entre pares de criterios. Así, por ejemplo, al asignar los pesos, se pregunta al tomador de decisión qué tan importante es un criterio particular en relación con otro para la decisión que se está tratando. El AHP considera el cálculo de un índice de consistencia, mediante el cual, el analista puede medir el error introducido por el decisor en el modelo.

Saaty (1980) formuló el método AHP con las siguientes etapas:

1. **Modelización.** Se construye un modelo jerárquico que representa todos los aspectos del proceso de toma de decisiones. La jerarquía debe ser completa pero minimalista, sus elementos (criterios, subcriterios y alternativas) representativos y no redundantes.
2. **Valoración.** Se incorporan las preferencias de los decisores mediante matrices que reflejan la dominación relativa de un elemento frente a otro, respecto a un atributo. La razón de comparar los criterios de dos en dos, es que para el decisor es más fácil comparar pares, que todos a la vez.

3. **Priorización y síntesis.** Determinar las prioridades. Se entiende por prioridad una unidad abstracta que representa las preferencias al comparar aspectos tangibles e intangibles. Se consideran tres tipos de prioridades: las prioridades locales (prioridades de los elementos que cuelgan de un nodo común, se obtienen a partir de la matriz recíproca de comparaciones pareadas), las prioridades globales (importancia de los elementos respecto a la meta global del problema, se obtienen aplicando el principio de composición jerárquica), y las prioridades finales o totales de las alternativas (se obtienen agregando las prioridades globales obtenidas para cada alternativa en los diferentes criterios, normalmente mediante un procedimiento aditivo). Para determinar dicha prioridad se recurre a escalas previamente establecidas, entre las cuales destaca la escala fundamental de comparación pareada propuesta por Saaty, una escala numérica del 1 al 9, donde 1 representa igual importancia (dos actividades contribuyen igual al objetivo), mientras 9 representa extrema importancia de un elemento sobre otro. Los números intermedios de la escala, representan la gama de valores intermedios entre dos elementos. El elemento menor tiene el valor recíproco o inverso respecto al mayor, es decir, si  $x$  es el número de veces que un elemento domina a otro, entonces este último es  $1/x$  veces dominado por el primero. Éste es el axioma de comparación recíproca

Dentro de la metodología se considera una etapa adicional de **análisis de sensibilidad** del resultado al realizar cambios en las prioridades de los criterios principales manteniendo las proporciones de las prioridades del resto de criterios, de tal manera que todos ellos sigan sumando la unidad (Casanovas, 2009)

Ventajas del AHP:

- La forma de comparación de pares de entrada de datos resulta sencilla y conveniente para los usuarios
- Detecta y acepta, dentro de ciertos límites, la incoherencia de los decisores humanos.
- Permite que el usuario afine su definición de un problema y mejore su juicio y comprensión mediante la repetición del proceso.
- Proporciona una escala para medir imponderables y un método para esclarecer prioridades y conduce a una estimación completa de la conveniencia de cada alternativa.

Desventajas:

- Se han planteado dudas sobre sus fundamentos teóricos, en particular, por el llamado el fenómeno de cambio de rango, que admite la posibilidad de que, al agregar una opción adicional a la lista de opciones que se están evaluando, se pueda invertir la clasificación de otras dos opciones, no relacionadas de ninguna manera con la nueva (Dodgson et al., 2009)

### **2.3.3. Métodos de relaciones de sobreclasificación (*Outranking Retation Theory, ORT*).**

Se trata de una teoría basada en relaciones binarias, denominadas de sobreclasificación, y en los conceptos de concordancia y discordancia. Emplea relaciones de sobreclasificación (outranking) para decidir sobre una solución que, sin ser óptima, pueda ser considerada satisfactoria y, de ese modo, obtener una jerarquización de las alternativas (Berumen & Llamazares, 2007) .

Lo que se busca, es la eliminación de opciones “dominadas” en un sentido particular, utilizando pesos para dar más influencia a algunos criterios sobre otros. Se dice que una opción sobreclasifica a la otra si la supera en suficientes criterios, de importancia elevada, y no se sobreclasifica a la otra opción en el sentido de registrar un desempeño significativamente inferior en cualquier criterio. Todas las opciones se evalúan en función de la medida de sobreclasificación con respecto al conjunto completo de opciones que se consideran medidas con respecto a un par de parámetros de umbral (Dodgson et al., 2009)

Los distintos métodos de sobreclasificación difieren entre sí según la formalización de la definición de relación de sobreclasificación, pero todos establecen dos pasos (Vincke, 1992)

1. Construcción de la relación de sobreclasificación. Este paso es específico de cada método en particular.
2. Explotación de esta relación para elegir el planteamiento del problema. Depende de las necesidades que haya que satisfacer, pudiéndose considerar tres formas básicas de plantear el problema (Roy, 1991):
  - Problema de selección. Aislar el subconjunto más pequeño de acciones que satisfagan las preferencias del decisor.



- Problema de clasificación. Asignar cada acción a una categoría predeterminada de acuerdo con lo que el decisor necesite hacer después.
- Problema de ordenación. Construir un pre-orden parcial o completo sobre un subconjunto de aquellas acciones que parecen más satisfactorias.

La principal preocupación sobre este método es que depende de algunas definiciones que pueden parecer arbitrarias de lo que constituye la sobreclasificación y cómo los parámetros de umbral se establecen y manipulan posteriormente por el tomador de decisiones.

Dentro de la teoría de las relaciones de sobreclasificación se distinguen los métodos:

ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la REalité). Su objetivo es reducir el tamaño del conjunto de soluciones eficientes mediante una partición de dicho conjunto en dos subconjuntos, uno de acciones favorables y otro, de acciones menos favorables para el decisor, y lo hace mediante funciones matemáticas para indicar el grado de dominancia de una acción respecto a otra. Las acciones se comparan por pares, bajo cada uno de los criterios de decisión, y a partir de ellas se obtiene el grado de dominancia o sobreclasificación de cada acción respecto a las demás. El resultado es la selección, ordenación o clasificación del conjunto de acciones.

PROMETHEE (Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations). La evaluación de las diferencias de valoración que dos acciones poseen respecto a cada atributo, asociadas a la intensidad de preferencia de una acción sobre la otra para cada atributo, puede realizarse mediante seis funciones de preferencia posibles, utilizadas de acuerdo a las características del decisor, quien además debe proporcionar los umbrales de indiferencia y preferencia asociados. Las funciones de preferencia toman valores entre 0 y 1 (valor 0 indica indiferencia y el valor 1 indica preferencia estricta). La determinación de la función de preferencia asociada a cada criterio y de sus parámetros asociados debe realizarse de forma interactiva con el decisor.

#### **2.3.4. Métodos MCA basados en conjuntos difusos (Fussy).**

Los conjuntos difusos tratan de captar la idea de que nuestro lenguaje natural al discutir cuestiones no es preciso, y así mismo, los datos disponibles. Las opciones son "bastante atractivas" desde un punto de vista particular o "bastante caras", no simplemente "atractivas" o "caras" (Dodgson et al., 2009).

La aplicación más típica de este método es la de Bass y Kwarkernaak (1977) que considera difusos tanto las evaluaciones como los pesos. Debido al carácter difuso de las variables, las expresiones matemáticas que respaldan las evaluaciones globales son difíciles de resolver y de ordenar para escoger la mejor. En este caso se utiliza el Principio de Extensión de Zadeh y los operadores Máx-Min. La aritmética difusa intenta capturar estas evaluaciones calificadas usando la idea de una función de preferencialidad, a través de la cual una opción pertenecería al conjunto de, por ejemplo, opciones 'atractivas', lo que permitiría calibrar mejor la selección final. (Barba-Romero, 1987) .

Estos métodos tienden a ser difíciles de entender para los no especialistas, no tienen bases teóricas claras desde la perspectiva de modelar las preferencias de los tomadores de decisiones y aún no han establecido que tienen ventajas críticas que no están disponibles en otros modelos más convencionales. Es poco probable que sean de uso práctico en el gobierno en el futuro previsible.

#### ***2.3.5. Modelos de ponderación lineal (Scoring).***

La mayoría de los enfoques MCA utilizan este modelo que tiene un largo historial de uso, con resultados eficaces. El modelo lineal muestra una puntuación global a partir de la suma simple de las contribuciones obtenidas de cada atributo. Su esquema básico consiste en construir una función de valor para cada alternativa. Aceptada esta formulación lineal, con la independencia y compensatoriedad de criterios que ello implica, el problema se traslada a la adecuada estimación de pesos en escala cardinal (Barba-Romero, 1987). Si se tienen varios criterios con diferentes escalas, que no pueden sumarse directamente, es necesario realizar un proceso de normalización previo (Berumen & Llamazares, 2007). Para obtener la puntuación global, se multiplica la puntuación de valor en cada criterio por el peso de ese criterio, y luego se suma todas esas puntuaciones ponderadas juntas.

#### ***2.3.6. Método integrado de valor para evaluaciones sostenibles (MIVES).***

Este método es una combinación de la Teoría de utilidad multiatributo (MAUT), el proceso de toma de decisión multicriterio (MCDM), añadiendo el concepto de función de valor, y asignación de pesos mediante el Proceso analítico jerárquico (AHP). La principal característica de este método es que permite a los tomadores de decisiones, priorizar y seleccionar de entre alternativas heterogéneas (Pujadas et al., n.d.)

Los procesos que lo conforman son:

- Delimitación de la decisión: definición de quién toma la decisión, los límites del sistema y las condiciones de contorno.
- Definición del árbol de toma de decisión: Los aspectos a tomar en cuenta en la decisión son ordenados en forma ramificada.
- Creación de las funciones de valor: consisten en funciones matemáticas para obtener valoraciones de 0 a 1 de todos los aspectos pertenecientes a la última ramificación del árbol de toma de decisión.
- Asignación de pesos: Definición de la importancia relativa de cada uno de los aspectos en relación a los restantes pertenecientes a una misma ramificación del árbol de toma de decisión.
- Definición de las alternativas: Elección de las alternativas a ser analizadas. al problema de toma de decisión planteado.
- Valoración de las alternativas: Obtención de índice de valor para cada alternativa planteada.
- Realización del análisis de sensibilidad: Análisis del posible cambio del índice de valor de cada una de las alternativas en el caso de varíen los pesos o las funciones de valor definidas en las primeras fases. Esta fase es opcional dentro de la metodología MIVES.
- Contrastación de resultados: Comprobación a largo plazo de que el modelo de valoración se sigue ajustando a lo que se quería valorar inicialmente y si los cálculos realizados en cada una de las alternativas es el esperado. Esta fase puede considerarse como una fase de control, del modelo y de las alternativas, y también es opcional dentro de la metodología MIVES (Universidad Politécnica de Cataluña, 2009).

#### **2.4. Análisis comparativo de métodos de toma de decisiones.**

A continuación se presenta un análisis cualitativo de las características deseables de los métodos de toma de decisiones. Para ello, se han elegido unos criterios deseables en estos métodos de cara a su uso práctico (Dodgson et al., 2009):

- Consistencia interna y solidez lógica del método.

- Facilidad de uso, disponibilidad de software, de ser necesario.
- Eficiencia en esfuerzo, tiempo, y recursos para el desarrollo del proceso. El esfuerzo no debe ser incompatible con la importancia de la cuestión considerada.
- Inclusión de criterios múltiples en la decisión, incluso criterios cualitativos.
- Comparación entre alternativas heterogéneas.

<b>Método</b>	<b>Consistencia</b>	<b>Facilidad de uso</b>	<b>Eficiencia: datos, tiempo, recursos</b>	<b>Multicriterio</b>	<b>Heterogeneidad de alternativas</b>
Análisis Financiero	***	◇◇	○○		
Análisis coste efectividad	***	◇◇	○○		
Análisis coste beneficio	***	◇◇	○		
Utilidad multiatributo	*	◇	○	+++	xxx
Proceso analítico jerárquico	**	◇◇	○	+++	xxx
Sobreclasificación	*	◇◇	○○	+++	xxx
Ponderación lineal	*	◇◇◇	○	+++	xxx
Conjuntos difusos	*	◇	○	+++	xxx
MIVES	***	◇◇	○○○	+++	xxx

Tabla 2.3. Comparación cualitativa de algunos métodos de toma de decisiones

La comparación cualitativa mostrada en la Tabla 2.3 permite tener una idea de la conveniencia de utilizar un método u otro para determinada aplicación. MIVES es un método que reúne las características deseables de varias de las técnicas de toma de decisiones, por tanto, es adecuado para una amplia de gama de aplicaciones.

## 2.5. Indicadores de ciudad en la gestión pública.

En la gestión pública, los indicadores son cada vez más importantes, ya que se necesita medir diferentes aspectos. A través de ellos se puede interpretar la situación actual del ámbitos de interés, su evolución y tendencia, y tomar medidas correctivas cuando las variables se salen de los límites que se han establecido.

Un indicador es una magnitud que refleja algún rasgo importante de un sistema dentro de un contexto de interpretación. Son “unidades de medida que permiten el seguimiento y la evaluación periódica de las variables clave de una organización, mediante su comparación con referentes internos y externos” (Arandes, 2016). Existen indicadores para todo tipo de ámbitos, de estos, los económicos son los más difundidos.

Para la construcción de indicadores, generalmente se sigue el siguiente proceso:

- a) Distinguir y describir las actividades que se ejecutan en la institución particular.
- b) Seleccionar las actividades que se quieren medir, en base a las necesidades de información y a lo que esperan los destinatarios.
- c) Identificar los destinatarios de la información (gerentes, representantes políticos, medios de comunicación, ciudadanos, usuarios de los servicios).
- d) Decidir con qué periodicidad se elaboraran y se harán públicos los indicadores.
- e) Establecer los criterios o estándares que permitan las comparaciones.

De estos puntos, el último representa una clara ventaja del uso de indicadores, ya que el comparar los datos propios con los de otras entidades que prestan servicios o desarrollan actividades equivalentes, (lo que se denomina benchmarking), permite considerar el uso de mejores prácticas, aprendiendo de lo que están haciendo otros. Los círculos de Comparación Intermunicipal son una herramienta de gestión y de benchmarking, cuya finalidad es medir, comparar y evaluar resultados, mediante unos indicadores comunes consensuados; formar un grupo de trabajo para intercambiar experiencias, y promover e impulsar la mejora en la gestión y provisión de los servicios públicos municipales (Arandes, 2016).

Debido a que en temas complejos, varios criterios deben ser considerados para facilitar la comprensión e interpretación del fenómeno de interés, se hace necesario el uso de indicadores compuestos (también llamados índices), donde se agregar varios datos o variables. Un ejemplo bastante difundido es el “Índice de desarrollo humano (IDH)” creado por el PNUD en 1990 que consta de tres índices (longevidad, nivel de educación y

nivel de vida), y cada índice sintetiza un conjunto de indicadores, por ejemplo, el índice de educación es una síntesis de los indicadores "tasa bruta de alfabetización" y "tasa bruta de educación" (Tanguay et al., 2010).

Para la construcción de índices, es necesario conceptualizar y estructurar la información que se utilizará en función de dicho concepto o visión del fenómeno a estudiar. Para ello, se requiere realizar la agregación, ponderación, y establecimiento de valores de referencia. La agregación puede ser espacial, temporal o temática, en el caso de los dos primeros, la agregación se realiza para una variable dada, mientras que la agregación temática agrupa indicadores de acuerdo a diferentes temas, y se utiliza para producir índices. La ponderación requiere atribuir una contribución a cada indicador o índice, para ello requerirá de un sistema que evite arbitrariedad en la asignación de pesos. Por último, es necesario establecer valores de referencia que pueden ser, umbrales: valor límite que causa un cambio irreversible o notable; valor crítico: generalmente derivado de normas; valor objetivo: establecido para medir esfuerzos para llegar a una meta; rendimiento relativo: útil para medir distancias relativas entre mejores y peores desempeños relacionados a una variable (Tanguay et al., 2010).

### **2.5.1. Indicadores e índices de sostenibilidad.**

En 1987, el Informe Brundtland acuña el término desarrollo sostenible, y lo define como aquel que “satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades”, y además, recoge “El desafío urbano” que representa que la mayoría de la población futura del mundo vivirá en áreas urbanas, por tanto, se hace indispensable concebir a las ciudades como protagonistas de la búsqueda del desarrollo sostenible (Brundtland et al., 1987).

El desarrollo sostenible está sustentado en tres planos básicos. (Gómez Lopez, 2012) lo describe así:

*El medioambiental.* Incluye dos campos, la protección de los recursos del planeta (materiales, energía, otros), y la protección de los ecosistemas afectados por todos los procesos relacionados con la actividad desarrollada.

*El económico.* Orientado a la igualdad y desarrollo en este campo, y que está relacionado con dos aspectos esenciales: la reducción de los costes de inversión, y la productividad de los recursos del planeta a largo plazo, disminuyendo los costes en todo el ciclo de vida.

*El social o socio-cultural.* Enfocado en la protección de la salud y confort de la población, y a preservación de sus valores sociales y culturales.

Con el surgimiento del concepto de ciudades sostenibles, se ha manifestado un creciente interés por el papel que las ciudades podrían tener en el tratamiento de los problemas ambientales globales y, en particular, el cambio climático (Bulkeley & Betsill, 2005).

- Las ciudades son lugares de alto consumo de energía y producción de residuos, por tanto, los gobiernos locales tienen una influencia directa sobre emisiones a través de la provisión de energía, transporte y gestión de residuos.
- Los gobiernos locales han demostrado ser las más eficaces para asumir el complejo programa de desarrollo sostenible, por su capacidad de coordinación de acciones entre los diferentes actores sociales, y facilitar los procesos participativos.
- Algunos gobiernos locales cuentan con basta experiencia en el tratamiento de los problemas ambientales y muchos han adoptado medidas innovadoras para reducir su impacto en el cambio climático, que pueden servir de base para nuevas experiencias.

El desarrollo de los indicadores de sostenibilidad (IDS) tienen su impulso definitivo a raíz de la Cumbre de la tierra, cuando una vez planteada la Agenda 21, la Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (Río de Janeiro, junio 1992) creó la Comisión de Desarrollo Sostenible (CDS), con el mandato de monitorear el progreso hacia el desarrollo sostenible (Quiroga, 2001). Los IDS surgen de la necesidad de medir el avance hacia los objetivos de sostenibilidad.

Actualmente existe una gran cantidad de indicadores urbanos desarrollados y usados con éxito en el ámbito local, pero que al no estar estandarizados a escala nacional, regional o internacional, no se pueden usar de manera comparativa. Los organismos internacionales, también han desarrollado y mantienen índices con consistencia y solidez necesarias para comparar ciudades, sin embargo, suelen estar centrados en áreas particulares como la económica o la ambiental (Berrone & Ricart, 2015).

A nivel mundial, el esfuerzo en torno a la producción de súper índices o mega indicadores agregados es notorio (Quiroga, 2007). Los principales índices globales relacionados a la sostenibilidad son los siguientes:

- Índice de Bienestar Económico Sostenible IBES (Index of Sustainable Economic Welfare, ISEW) - Daly, H. & Cobb, J. (1989).

- Huella Ecológica (Ecological Footprint) – Wackernagel, M. (1994), Ecological Footprint Network
- Índice del Planeta Vivo (Living Planet Index, LPI) – World Wide Fund For Nature WWF
- Índice de Sostenibilidad Ambiental (Environmental Sustainability Index, ESI) - Global Leaders for Tomorrow Environmental Task Force del World Economic Forum
- Índice Cities in Motion (ICIM) – IESE Business School, Universidad de Navarra

Hay que señalar que el cálculo y mantenimiento de estos índices es complejo, requiere un gran esfuerzo, humano y económico, y por tanto, no siempre es viable su aplicación. Además, la falta de datos, puede hacer que su cálculo resulte imposible en ciertos casos.

Como ejemplo de la composición de estos índices, el Índice Cities in Motion (ICIM) (Berrone & Ricart, 2015) se ha diseñado con el objeto de medir la sostenibilidad hacia el futuro de las principales ciudades del mundo, al igual que la calidad de vida de sus habitantes. Está compuesto por diez dimensiones: capital humano, cohesión social, economía, gestión pública, gobernanza, movilidad y transporte, medio ambiente, planificación urbana, proyección internacional, y tecnología, a través de la agregación ponderada de 72 indicadores parciales que representan cada una de las dimensiones que componen el modelo teórico ICIM. Este Índice busca evaluar la vanguardia de ciudades “Smart”, y en su segundo año de aplicación se ha calculado para 148 ciudades de todo el mundo, sin embargo, la limitación más importante en el cálculo del ICIM esté vinculada a la disponibilidad de datos

En España, el Sistema Municipal de Indicadores de Sostenibilidad, aprobado el 25 de noviembre de 2010 por el Grupo de Trabajo de Indicadores de la Red de Redes de Desarrollo Local Sostenible, consta de un panel de indicadores diseñado para medir el grado de sostenibilidad de cualquier municipio español bajo los mismos criterios. Su función es diagnosticar el grado de acomodación de la situación actual de cada municipio respecto a un modelo determinado, definido por los criterios que sustentan el Sistema de Indicadores (Red de Redes de Desarrollo Local Sostenible 2011)

Al ser cada ciudad única, con sus necesidades y oportunidades particulares, es necesario diseñar un plan propio, que represente sus prioridades y sea flexible para adaptarse a los cambios (Berrone & Ricart, 2015). Para la selección de indicadores y



atributos del caso de estudio, ha sido necesario adaptar indicadores conocidos al caso particular de un municipio relativamente pequeño (100,000 habitantes), y en algunos casos, desarrollar los propios. En la Tabla 2.4 se enlistan los indicadores elegidos por los tomadores de decisiones, como criterios de decisión de sostenibilidad del problema a evaluar, y se los relaciona con otros indicadores obtenidos del Índice Cities in Motion, indicando el origen de cada uno, sin embargo, la mayoría de indicadores escogidos se relacionan mejor con los del Sistema Municipal de Indicadores de Sostenibilidad, al tratarse de indicadores más genéricos que pueden aplicarse a cualquier municipio.

ÁMBITO	INDICADOR		INDICADOR DE REFERENCIA	ENTIDAD GESTORA
Relevancia de la actuación	Contribución al equilibrio territorial		- Proximidad a servicios urbanos básicos - Número de actividades por habitante	RRDLS
	Alcance de la actuación: ámbito y relevancia			
	Alineación ejes estratégicos: -Cobertura necesidades ciudadanas -Mejora del nivel educativo de la población -Generación de espacios públicos -Reutilización, reducción y reciclaje -Ciudad económicamente activa			
	Evaluación situación previa de la actuación			
Económico	Costo Unitario Anual		- Tasa Interna de Retorno TIR	Varios
	Incremento de gastos de mantenimiento			
	Probabilidad de financiamiento externo			
Ambiental	Contribución al medio ambiente	Mejora en la gestión de residuos	- Generación de residuos sólidos urbanos -Recogida selectiva neta de residuos	RRDLS
		Mejora en la adaptación al cambio climático	- Superficie del terreno donde la elevación es inferior a 5 metros (% de la superficie total)	Banco Mundial
		Mejora en la mitigación al cambio climático	- Producción local de energías renovables	RRDLS
		Mejora en la eficiencia de usos de agua	- Consumo de agua urbano - Depuración y reutilización de las aguas residuales urbanas	RRDLS
		Mejora de la calidad del aire	-Calidad del aire	RRDLS
		Mejora de la calidad acústica	- Confort acústico	RRDLS
		Mejora de la biodiversidad en los espacios verdes	- Zonas verdes por habitante	RRDLS
		Mejora en la adecuación paisajística	- Superficie de paisaje recuperado	RRDLS
Social	Variación de	- Mejora de la seguridad	- Índice de Criminalidad	Numbeo

ÁMBITO	INDICADOR		INDICADOR DE REFERENCIA	ENTIDAD GESTORA
la calidad en bienestar	- Mejora de la accesibilidad, comodidad y movilidad		- Distribución modal del transporte urbano -Espacio viario para peatones	RRDLS
			- Índice de tráfico	Numbeo
			- Número de estaciones de metro por cada 100.000 habitantes - Carriles de bicicleta	2thinknow
	- Mejora de la cultura, educación y formación		- Proporción de población con educación secundaria y superior	Euromonitor
			- Número de museos y galerías por cada 100.000 habitantes	2thinknow
	- Mejora de la salud, higiene y promoción deportiva		- Índice de sanidad	Numbeo
	- Mejora en la perspectiva de género			
	- Mejora en la cohesión social		- Índice de Gini	-Corrado Gini -Banco Mundial -Euromonitor
			- Tasa de asociacionismo	RRDLS
Incremento de ciudadanos que harán uso	- Variación de la capacidad (de servicios públicos)		- Proximidad a servicios urbanos básicos	RRDLS
Creación de puestos de trabajo	- Puestos de trabajo en valor absoluto		Tasa de desempleo (nº desempleados/ población activa)	Euromonitor
	- Puestos de trabajo de clausurado social			
Grado de aceptación social	- Promoción ciudadana		- Satisfacción de los ciudadanos con la comunidad local	RRDLS
	-Aceptación social			

Tabla 2.4. Relación de indicadores e índices de ciudad



### **3. MODELO INTEGRADO DE VALOR PARA EVALUACIONES SOSTENIBLES (MIVES)**

El Modelo Integrado de Valor para Evaluaciones Sostenibles, MIVES, es un modelo y herramienta de toma de decisiones desarrollado por un grupo de tres universidades e institutos: UPC, UPV y Labein-Tecnalia, inicialmente aplicado a la industria de la construcción para identificar las alternativas más sostenibles (Alarcon et al., 2011). Permite el análisis de un conjunto de alternativas, continuas o discretas, bajo criterios múltiples, resolver un problema genérico definido a través de un índice de valor que se engloba dentro de la teoría de utilidad multiatributo, ya que se realiza una suma ponderada de las valoraciones de los diferentes criterios considerados, admitiendo que existe certidumbre, es decir, que las preferencias del decisor respecto a los indicadores planteados son conocidas, y todo el modelo de valoración es planteado de forma previa a la definición de las alternativas (Viñolas Prat et al., 2009).

#### **3.1. Descripción general del método**

MIVES es un método que permite a los tomadores de decisiones priorizar y seleccionar de entre alternativas heterogéneas (Pujadas et al., n.d.), y combina las ventajas de varios métodos de toma de decisión:

- Proceso de Toma de Decisión Multicriterio (MCDM): como método base de toma de decisión.
- Proceso Analítico Jerárquico (AHP): para la asignación de pesos de los criterios de decisión.

- Teoría de Utilidad Multiatributo (MAUT): el concepto de función de preferencia permite comparar en una única unidad de medida, las diferentes variables.
- Funciones de valor para evaluación de sostenibilidad (Alarcon et al., 2011)

Las etapas procedimentales de este método y la descripción de cada una de ellas se muestran en la Tabla 3.1:

<b>Etapas procedimentales</b>	<b>Descripción</b>
Delimitación de la decisión	Definir el problema y las decisiones a tomar.
Construcción del árbol de decisión	Producir un diagrama básico del modelo de decisión, desmembrando el problema en partes más pequeñas, que luego se organizan de forma ramificada (árbol de requerimientos). Este árbol puede incluir variables cualitativas o cuantitativas.
Asignación de pesos	Se otorga la importancia o el peso relativo de cada uno de los aspectos en relación a los restantes pertenecientes a una misma ramificación.
Funciones de valor	Se plantean funciones matemáticas que permitan convertir las variables cualitativas y cuantitativas (último nivel de la ramificación), con sus distintas unidades y escalas, en un conjunto de variables con las mismas unidades y escalas (generalmente, valoraciones de 0 a 1).
Definición de la alternativas	Se definen las alternativas que serían factibles para resolver el problema planteado. En algunos casos, las alternativas ya han sido fijadas en el planteamiento del problema.
Evaluación	Se valoran las alternativas utilizando el modelo previamente creado y se obtiene un índice de valor para cada una de las alternativas planteadas.
Análisis de sensibilidad	Etapas opcional donde se analiza el posible cambio del índice de valor de cada una de las alternativas en el caso de variar los pesos o las funciones de valor definidas en las primeras fases.
Toma de decisiones	Elegir una o un conjunto de alternativas más adecuadas, o priorizarlas en función de su índice de valor.

Tabla 3.1. Fases procedimentales del MIVES

Fuente: Aguado et al. (2012); Viñolas Prat et al. (2009).

### 3.2. Descripción de las fases de la metodología MIVES.

#### 3.2.1. Delimitación de la decisión.

De acuerdo a Viñolas Prat et al. (2009), para delimitar adecuadamente el problema motivo de análisis para la toma de decisión será necesario establecer las características del tomador de decisión, los límites del sistema, y las condiciones de contorno.

**Tomador de la decisión.** En una decisión pueden intervenir distintas personas con diferentes puntos de vista. En muchos casos no existe una alternativa que sea la mejor en todos los aspectos considerados, por ello, no es posible realizar una elección definitiva, si no que ésta depende de quien tome la decisión, respondiendo a una visión propia.

**Límites del sistema.** El problema se descompone en una estructura de tres ejes: los requerimientos bajo los cuales se analizará y valorará las alternativas; el componente temporal, o ciclo de vida del problema; y los componentes de las diferentes alternativas.

**Condiciones de contorno:** Para que la valoración de las alternativas que solucionan un problema sea comparable, las condiciones de contorno deben ser iguales. Por ello, el planteamiento inicial del problema debe ser homogéneo para todas las alternativas. Algunas de estas condiciones de contorno pueden llegar a ser condicionantes de tipo económico, temporal, etc. en las que las alternativas no deben superar ciertos límites, para poder ser consideradas como alternativas a valorar.

#### 3.2.2. Construcción del árbol de decisión.

Este proceso consiste en la descomposición del problema de decisión en componentes más simples que cubran de forma global el problema, y su organización en forma ramificada y por niveles. En el primer nivel se ubican los aspectos más cualitativos y generales de la toma de la toma de decisión, a continuación, se ubican criterios y sub-criterios, y en el último nivel se ubican los aspectos más particulares, los indicadores.

Los requerimientos son los aspectos más cualitativos y representan la visión más general de los criterios bajo los cuales se realiza la toma de decisión (por ejemplo, en el caso de un análisis desde el punto de vista de la sostenibilidad, los requerimientos coincidirán con los tres pilares básicos de la sostenibilidad: económico, social y ambiental) (Viñolas Prat et al., 2009). Los niveles intermedios permiten establecer una estructura de des-agregación que organice todos los aspectos recogidos en el modelo (Gómez Lopez, 2012). En el último nivel se ubican los indicadores en base a las cuales el análisis será realizado.

Los indicadores son variables cualitativas o cuantitativas a partir de las cuales se cuantifica el valor de la alternativa, a través de las funciones de valor. Para su definición es aconsejable utilizar técnicas de trabajo en equipo como “técnica delphi”, “decision conferencing”, o “brain storming” (Pulido, 2008). Los indicadores escogidos en el árbol de toma de decisión deben ser representativos, discriminantes, complementarios, relativos, cuantificables, precisos y trazables (Garrucho, 2006).

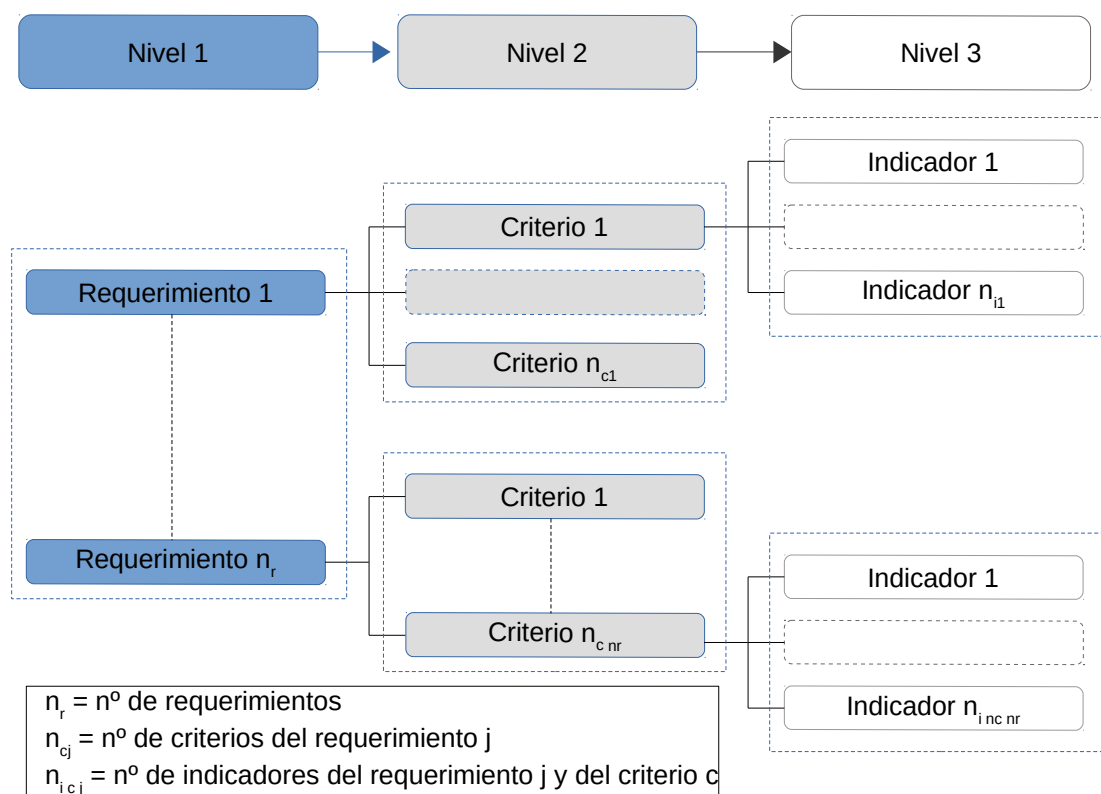


Figura 3.1. Niveles que conforman el árbol de decisión

Fuente: Adaptado de Viñolas Prat et al. (2009)

### 3.2.3. Asignación de pesos mediante el proceso analítico jerárquico (AHP).

Esta etapa consiste en establecer preferencias entre los elementos de una misma ramificación, así, los pesos de los indicadores se calculan en relación a otros indicadores pertenecientes a un mismo criterio, los pesos de los criterios se calculan en relación a los restantes pertenecientes a un mismo requerimiento, y todos los requerimientos son comparados entre sí (Viñolas Prat et al., 2009). La suma de los pesos de los elementos pertenecientes a una misma ramificación es igual a la unidad.



**Matriz de decisión:** Para cada bloque de comparación es necesaria la construcción de una matriz cuadrada  $n \times n$ , siendo  $n$  el número de elementos a comparar (requerimientos, criterios o indicadores de la misma ramificación). La matriz tendrá valor 1 en toda la diagonal, producto de la comparación entre un elemento consigo mismo (que tendrá igual importancia). El elemento inverso de la matriz es el número inverso. Por ejemplo si el indicador  $i$  respecto al indicador  $j$  tiene una importancia de 4, cuando se compara el indicador  $j$  con el indicador  $i$  será  $1/4$  (Viñolas Prat et al., 2009).

Criterio $i$	C1	C2	...	Ci	...	Cn
C1	1	$a_{12}$	...	$a_{1i}$	...	$a_{1n}$
C2	$1/a_{21}$	1	...	$a_{2i}$	...	$a_{2n}$
...	...	...	1	...	...	...
Ci	$1/a_{i1}$	$1/a_{i2}$	...	1	...	$a_{in}$
...	...	...	...	...	1	...
Cn	$1/a_{n1}$	$1/a_{n2}$	...	$1/a_{ni}$	...	1

Tabla 3.2. Matriz de decisión

Fuente: Alarcón (2005).

**Vector propio y consistencia de la matriz:** Una vez establecida la matriz de decisión, el proceso AHP requiere del cálculo del vector propio, a partir del cálculo del valor propio (o autovalor). El vector representa el ranking u orden de prioridades, mientras el valor propio es una medida de la consistencia del juicio, es decir, comprueba la correcta asignación de las preferencias (Alarcón, 2005). La matriz será más consistente mientras menor sea el valor del autovalor.

La consistencia está dada por dos elementos: transitividad y proporcionalidad. La transitividad representa la congruencia en las relaciones de orden entre los elementos: si  $A > C$  y  $C > B$  por lógica  $A > B$ . La proporcionalidad es el respeto a las órdenes de magnitud de las preferencias: si  $A$  es 3 veces mayor que  $C$  y  $C$  es 2 veces mayor que  $B$ , entonces  $A$  debe ser 6 veces mayor que  $B$ . Este juicio sería 100% consistente, pero en la aplicación real de estos juicios, nuestras estimaciones de las proporciones no son 100% consistentes, por tanto, es aceptable un margen de inconsistencia, o error, del 10% (Alarcón, 2005).

Para calcular el vector y el valor propio de la matriz de decisión A, se tienen las siguientes ecuaciones:

(1)

$A$  = Matriz recíproca de comparación a pares, o matriz de decisión.

$w$  = Vector propio de A

$\lambda$  = Máximo valor propio

El valor propio o autovalor puede ser resuelto:

$$A \cdot w - \lambda \cdot w = 0$$

$$A - \lambda \cdot w = 0$$

$$\det(A - \lambda I) = 0 \quad (2)$$

$$(A - \lambda \cdot I)w = 0$$

Para calcular el autovector para cada valor propio  $\lambda_i$ , es necesario resolver la ecuación matricial donde  $w$  y 0 son vectores columna. Una matriz de 3x3 se resolverá así:

$$A = \begin{vmatrix} 1 & a & b \\ 1/a & 1 & c \\ 1/b & 1/c & 1 \end{vmatrix} \quad (3)$$

$$\det \begin{vmatrix} 1-\lambda & a & b \\ 1/a & 1-\lambda & c \\ 1/b & 1/c & 1-\lambda \end{vmatrix} = 0$$

Para obtener  $\lambda$ :

$$-\lambda^3 + 3\lambda^2 + \left(\frac{d}{1} + \frac{1}{d} - 2\lambda\right) = 0,$$

donde  $d = ac/b$

El **valor propio** máximo es el dado por la expresión:

$$\lambda_{max} = a + d + d^{-1} \quad (4)$$

El **vector propio** se obtiene a partir de resolver  $(A - \lambda_i I) \cdot w = 0$ , obteniendo:

$$w_1 = b \cdot d / (1 + b \cdot d + c/d) \quad (5)$$

$$w_2 = c/d \cdot (1 + b \cdot d + c/d) \quad (6)$$

$$w_3 = 1 / (1 + b \cdot d + c/d) \quad (7)$$

Para la matriz de tres por tres establecida como ejemplo, una consistencia perfecta estará dada por  $c=b/a$ ,  $d=1$  y  $\lambda_{max}=3$

Para la comprobación de la consistencia de la matriz, es necesario calcular la llamada “relación de consistencia”, definida como la relación entre el índice de consistencia y el índice de aleatoriedad. Se recomienda que la relación de consistencia no sea mayor a 0,1 (10%) para que una ponderación sea considerada consistente. Al obtener una relación de consistencia mayor, es recomendable volver a realizar la asignación de preferencias.

$$R.C = \frac{C.I}{R.I} \leq 0.1 \quad (8)$$

donde,

R.C = Relación de consistencia

I.C = Índice de consistencia

I.A = Índice de aleatoriedad

El índice de consistencia está dado por la ecuación 9.

$$I.C = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n-1)} \quad (9)$$

El índice de aleatoriedad, es el máximo índice de consistencia de una matriz de decisión generada de forma aleatoria, y únicamente depende del tamaño de la matriz. Varios índices de aleatoriedad se muestran en la Tabla 3.3:

Tamaño matriz n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I.A	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Tabla 3.3. Índice aleatoriedad (I.A)

Fuente: Saaty (1980)

**Escala de Saaty:** Los pesos pueden asignarse de forma directa dando valores numéricos por expertos en la materia. En caso de árboles de cierta complejidad, o de falta de consenso entre los expertos, se puede utilizar el Proceso Analítico de Priorización (Analytic Hierarchy Process: AHP) (Gómez Lopez, 2012). Dentro de la metodología AHP, Saaty (1980) propone una escala del 1 al 9 (Tabla 3.4), para asignar preferencias entre los elementos a compara, sin embargo esta escala puede ajustarse a realidad del problema.

Hipótesis: i más importante que j		Hipótesis: i menos importante que j	
Escala general	Escala verbal	Escala general	Escala verbal
1	Igual importancia	1	Igual importancia
2	Preferencia intermedia entre 1 y 3	1/2	Preferencia intermedia entre 1 y 3
3	Moderadamente más importante	1/3	Moderadamente más importante
4	Preferencia intermedia entre 4 y 5	1/4	Preferencia intermedia entre 4 y 5
5	Más importante	1/5	Más importante
6	Preferencia intermedia entre 7 y 9	1/6	Preferencia intermedia entre 7 y 9
7	Mucho más importante	1/7	Mucho más importante
8	Preferencia intermedia entre 7 y 9	1/8	Preferencia intermedia entre 7 y 9
9	Extremadamente más importante	1/9	Extremadamente más importante

Tabla 3.4. Escala de Saaty

Fuente: Saaty (1980)

### **3.2.4. Construcción de la función de valor.**

La función de valor permite transformar una cuantificación de una variable o atributo en una variable adimensional comprendida entre 0 y 1, donde 0 refleja la satisfacción mínima ( $S_{min}$ ) y 1 refleja la máxima satisfacción ( $S_{max}$ ). Junto con los pesos calculados para cada variable, permite obtener el valor, primero para los indicadores, luego para los criterios, después de requerimientos y finalmente para cada alternativa, de modo que se puede tomar una decisión sobre esas alternativas. Alarcon et al.( 2011) establece un procedimiento para la construcción de la función de valor:

#### 1. Definición de la tendencia de la función valor:

- Creciente: la satisfacción del decisor aumenta con un aumento del valor del indicador.
- Decreciente: la satisfacción del decisor disminuye a medida que aumenta el valor del indicador.
- Mixta: la máxima satisfacción del decisor se produce en puntos medios del valor del indicador y la máxima insatisfacción en puntos extremos, tipo campana de Gauss.

2. Definición de los puntos correspondientes a la mínima ( $S_{min}$ ) y máxima satisfacción ( $S_{max}$ ): Estos puntos definen los límites de la función de valor en el eje x y están dados por la cuantificación o medida de las variables que se analizan,  $S_{min}$  tiene un valor de satisfacción o respuesta en el eje y de la función de 0, y  $S_{max}$  una respuesta en y de 1.

Estos puntos suelen establecerse según tres criterios (Alarcon et al., 2011):

- Limitaciones normativas: cuando las variables están limitadas a unos valores dados, o por un intervalo definido en la normativa.
- Experiencia de proyectos anteriores: Se pueden usar datos de experiencias previa, si existen. Los rangos de valores son más flexibles que cuando la limitación es normativa.
- Rango producido por las diferentes alternativas. Los límites de la función de valor corresponden a los valores mínimo y máximo de las diferentes alternativas con respecto a un indicador. Si aparece un alternativa adicional, el valor puede cambiar.

#### 3. Definición de la forma de función:

- Lineal: el incremento o disminución es de valor constante a lo largo del rango de respuesta de las alternativas.

- Convexa: presenta un gran aumento de valor para respuestas cercanas a la que genera el mínimo valor si la función es creciente o un gran decremento de valor para respuestas cercanas al mínimo valor si la función es decreciente.
- Cóncava: muestra un gran aumento de valor para valores cercanos a los que generan el máximo valor si la función es creciente o un gran decremento de valor para respuestas cercanas al mínimo valor si la función es decreciente.
- En S: el aumento o disminución de valor máximo se produce en la parte central del rango de respuestas y es menor en los puntos cercanos al mínimo y máximo.

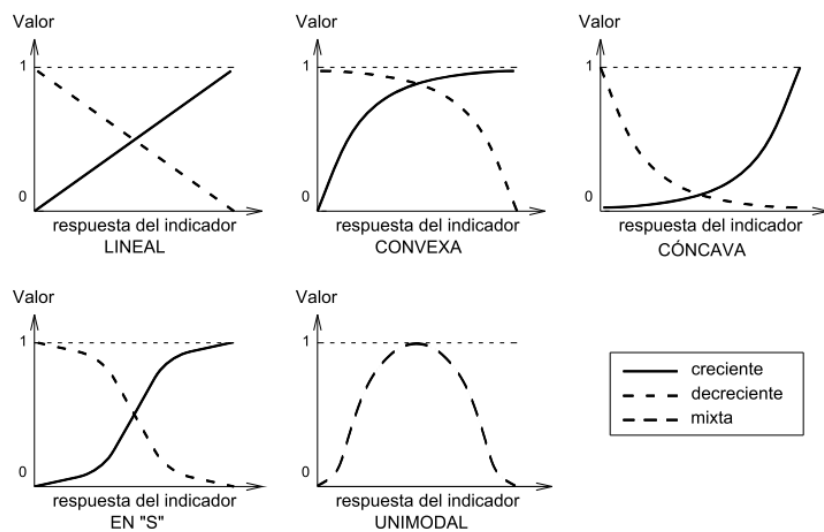


Figura 3.2. Formas de funciones de valor

Fuente: Alarcon et al. (2011)

4. Definición de la función matemática de la función de valor: La ecuación matemática propuesta por Alarcon et al. (2011) es la siguiente:

$$V_{ind} = B \cdot \left[ 1 - e^{-K \cdot \left[ \frac{(X - S_{min})}{C} \right]^p} \right] \quad (10)$$

Donde:

$V_{ind}$ : valor del indicador que se está evaluando

$B$ : factor transformador al rango de 0 a 1 (ecuación 11)

$S_{min}$ : punto de satisfacción mínima, con un valor de 0

$S_{max}$ : punto de satisfacción máxima, con un valor de 1.

$X$ : abscisa que genera un valor igual a  $V_{ind}$

$P$ : define la forma de la curva.  $P < 1$  = curva cóncava;  $P > 1$  = curva convexa o en forma de S;  $P = 1$  es una función lineal.

$C$ : define aproximadamente el valor  $x$  del punto de inflexión para curvas con  $P > 1$ .

$K$ : es un parámetro que define aproximadamente el valor  $y$  en el punto  $C$ .

$$B = \frac{1}{[1 - e^{-K * ((S_{max} - S_{min})/C)^P}]}$$
 (11)

De acuerdo a esto, la forma de la función depende de los valores que los parámetros  $P$ ,  $C$  y  $K$  en cada caso. La Tabla 3.5 muestra valores característicos de estos parámetros para construir diferentes tipos de funciones de valor, sin embargo los parámetros pueden variar según las preferencias del tomador de decisiones, que deberán definir y consensuar los parámetros.

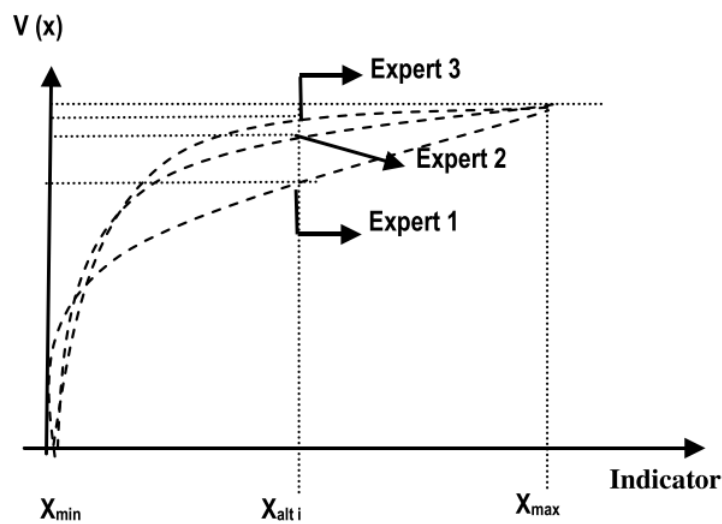


Figura 3.3. Función de valor generada por un grupo de tomadores de decisiones.

Fuente: Alarcón (2005)

Función creciente			
Función	C	K	P
Lineal	$C \approx X_{min}$	$\approx 0$	$\approx 1$
Convexa	$X_{min} + \frac{X_{max} - X_{min}}{2} < C < X_{min}$	$< 0.5$	$> 1$
Cóncava	$X_{min} < C < X_{min} + \frac{X_{max} - X_{min}}{2}$	$> 0.5$	$< 1$
Forma S	$X_{min} + \frac{X_{max} - X_{min}}{5} < C < X_{min} + \frac{4(X_{max} - X_{min})}{5}$	$0.2/0.5$	$> 1$
Función decreciente			
Función	C	K	P
Lineal	$C \approx X_{min}$	$\approx 0$	$\approx 1$
Convexa	$X_{max} < C < X_{max} + \frac{X_{min} - X_{max}}{2}$	$< 0.5$	$> 1$
Cóncava	$X_{min} - \frac{X_{min} - X_{max}}{2} < C < X_{min}$	$> 0.5$	$< 1$
Forma S	$X_{max} - \frac{4(X_{max} - X_{min})}{5} < C < X_{max} + \frac{(X_{max} - X_{min})}{5}$	$0.2/0.5$	$> 1$

Tabla 3.5. Valores típicos para P, K y C en funciones de valor.

Fuente: Alarcon et al. (2011)



## **4. ÍNDICE DE SOSTENIBILIDAD PARA LA PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES PUBLICAS EN AYUNTAMIENTOS DE HASTA 100.000 HAB.**

Los presupuestos anuales de los ayuntamientos están compuesto siempre de un importante número de proyectos de naturaleza heterogénea. Todos los proyectos incluidos en el planeamiento responden a una necesidad, por ello, es necesario implementar una metodología que demuestre un manejo idóneo y de calidad de la inversión pública, y en este caso, con un enfoque de sostenibilidad.

MIVES es una metodología ya consolidada para la toma de decisiones desde el punto de vista de la sostenibilidad. El desarrollo sostenible se basa en tres pilares fundamentales: el económico, el social y el ambiental. El método estructura el pensamiento del árbol de decisiones en los tres niveles clásicos: requerimiento, criterios e indicadores, estableciendo a nivel de requerimientos, los pilares de la sostenibilidad. Los criterios e indicadores, responderán a las visión de ciudad que tienen los tomadores de decisión.

Teniendo en cuenta que las alternativas son heterogéneas y la decisión es única, es necesario un paso previo que homogeneice ciertas características de las alternativas para que su comparación sea factible, esto se logra dividiendo el proceso en dos fases consecutivas (Pardo-Bosch, 2014):

FASE I, que evalúa la necesidad de llevar a cabo determinada inversión a través de un mecanismo que permite, independiente de la tipología de la inversión, conocer su necesidad en función de diferentes factores. En la Fase I se obtiene un valor entre 1 y 5 para cada uno de los proyectos analizados y este valor actúa como condicionante en la Fase II, influenciando los indicadores del árbol de decisión que valora el ISPIM.

FASE II, en la que se evalúan las consecuencias derivadas de la ejecución de la inversión, estableciéndose un orden de prioridades a través del índice de Sostenibilidad, llamado en este caso ISPIM, que va de 0 (mínima satisfacción) a 100 puntos (máxima satisfacción), lo que permitirá a los técnicos municipales realizar una ordenación. Todas estas inversiones se pueden clasificar en 5 niveles, siendo el nivel A lo que engloba a las inversiones más sostenibles.

Nivel A	Nivel B	Nivel C	Nivel D	Nivel E
$100 \leq \text{ISPIM} < 80$	$80 \leq \text{ISPIM} < 60$	$60 \leq \text{ISPIM} < 40$	$40 \leq \text{ISPIM} < 20$	$20 \leq \text{ISPIM} < 0$

Tabla 4.1. Nivel de clasificación isPIM

Fuente: Adaptado de Aguado et al. (2015)

#### 4.1. Delimitación de la decisión, límites del sistema y condiciones de contorno.

El espacio en el que se encuadra cualquier decisión viene delimitado por los siguientes aspectos: el ámbito (limita la dimensión del estudio), el componente temporal (ciclo de vida de una inversión), y los requerimientos bajo los cuales se evaluará la decisión (Viñolas Prat et al., 2009).

**Ámbito.** Se trata de un análisis ex-ante del Plan de Inversiones Municipales (PIMs) 2015-2019 del Ayuntamiento de Sant Boi de Llobregat. Las inversiones que se incluyen en el análisis son principalmente de infraestructura, debido al interés del ayuntamiento de enfocarse en este tipo de proyectos.

**Componente temporal.** Está dado por el ciclo de vida de una inversión. Estas fases normalmente son: proyecto, ejecución, explotación y abandono/demolición. Para el caso de estudio, únicamente se considera la fase de proyecto.

**Requerimientos de análisis.** Se basa en la visión de desarrollo sostenible de la ciudad. Los requerimientos principales son aspectos sociales, ambientales, y económicos. La metodología ha sido adaptada a la visión de sostenibilidad de los representantes técnicos del Ayuntamiento de Sant Boi de Llobregat.

## 4.2. FASE I: Homogeneización de las Inversiones (HI)

Como ya se ha dicho, esta fase permite equilibrar las condiciones de contorno para las inversiones que entrarán en el análisis. Para ello, se aplicará un sistema semi-cuantitativo, válido para evaluar cualquier tipo de inversión, que permite su homologación conceptual, haciendo posible la comparación de inversiones heterogéneas (Pardo-Bosch, 2014).

La HI usa cuatro variables, cada una de las cuales es valorada en una escala que va de 1 a 5 puntos. Las variables son independientes, por tanto, la puntuación de unas no debe condicionar la puntuación de las otras. La estructura del árbol de requerimientos de esta fase se muestra en la Figura 4.1:

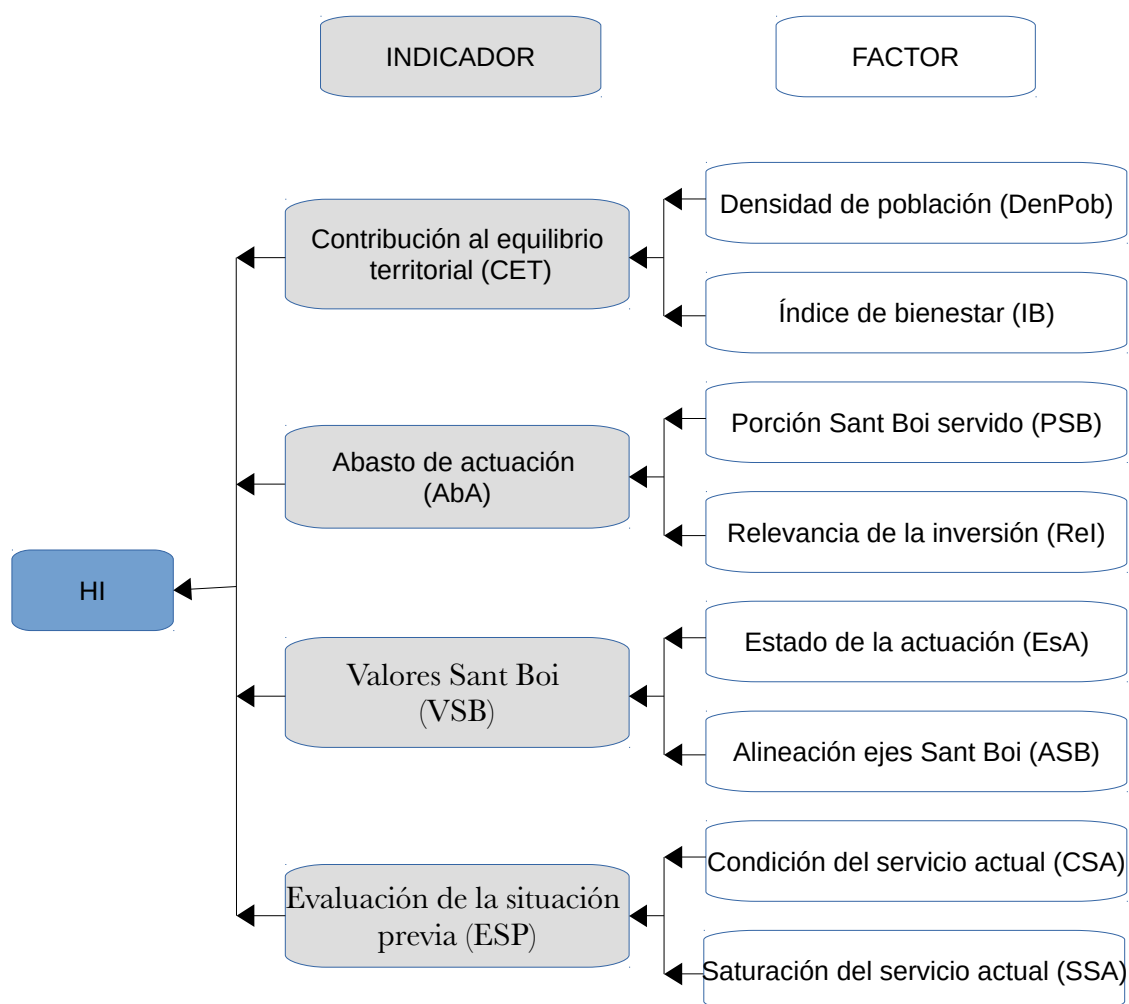


Figura 4.1. Árbol de requerimientos Fase I

#### 4.2.1. Contribución al Equilibrio Territorial (CET)

La variable Contribución al Equilibrio Territorial (CET) evalúa cuál ha sido el grado de inversión pública que ha recibido un determinado sector territorial del municipio en función de su representatividad en el conjunto de la ciudad. Con esta variable se trata de favorecer que las nuevas se programen en los territorios históricamente menos beneficiados, priorizando inversiones que logren una redistribución social de la riqueza.

La perspectiva temporal considerada para valorar esta variable es de **8 años**, periodo que comprende dos PIMs. Tomando en cuenta este periodo de tiempo, se logra mayor representatividad en los datos utilizados, al incluir posibles cambios de tendencias políticas y económicas.

El grado de Contribución al Equilibrio Territorial (CET) de una inversión, está relacionado con otro parámetro denominado Déficit de Inversión Zonal (DIZ), que compara la inversión en todo el territorio, y aquella destinada específicamente a un distrito. La ecuación planteada es la siguiente:

$$DIZ = 1 - \frac{\frac{Inversión_i}{Inversión_T}}{\alpha_1 \cdot \frac{DenPob_i}{DenPob_T} + \alpha_2 \cdot \frac{1}{Índice\ de\ bienestar_i}} \quad (12)$$

Dónde:

*Inversión* es el capital monetario invertido en infraestructura y servicios en los últimos 8 años.

*DenPob* es la densidad de población del distrito *i* (n.º habitantes/superficie efectiva). La superficie efectiva (Km<sup>2</sup>) es aquella superficie neta en la que se concentra la población de cada distrito, es decir, se omiten superficies dedicadas a la actividad industrial, agrícola y áreas verdes externas al perímetro urbano.

*Índice de Bienestar* es un indicador del Ayuntamiento de Sant Boi de Llobregat que mide 4 variables que representan el bienestar o equidad de la población de los distritos, en relación a la de toda la ciudad. Las variables incluidas en este indicador son: nivel de estudios, porcentaje de población migrante en el distrito, coste del espacio por unidad superficie, superficie disponible por habitante.

El subíndice (i) especifica la zona (distrito) donde se sitúa la inversión y el subíndice (T) indica la totalidad del territorio. Los parámetros  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$  dan peso a cada una de estas

variables, y deben cumplir con la condición:  $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$ . El peso de cada una de las variables debe quedar establecido de acuerdo con el criterio técnico de los responsables del Ayuntamiento, mediante asignación directa, o AHP. Inicialmente, el valor se establece como  $\alpha_1 = 0.5$  y  $\alpha_2 = 0.5$

El numerador de la ecuación considera, en porcentaje, la inversión en obra pública que ha realizado el Ayuntamiento en un distrito particular en relación con el total de la inversión que ha realizado en la ciudad el Ayuntamiento. El denominador de la ecuación considera lo que cada distrito debería recibir, teniendo en cuenta, la densidad de población y la carencia de bienestar de la misma.

Cuando se conoce el déficit de cada distrito (DIZ) se puede determinar mediante una función lineal (Figura 4.2) cuál es la capacidad que tiene una inversión de contribuir al equilibrio territorial, en una escala de 1 a 5 puntos. El sentido del factor DIZ es que, teniendo un mismo monto de inversión, una zona con mayor densidad de población y menor bienestar, reciba una mayor puntuación en el factor DIZ, y luego en su Contribución al Equilibrio Territorial.

Distrito		Población 2016 (hab)	Superficie efectiva (km <sup>2</sup> )	Densidad de Población (hab/km <sup>2</sup> )	Inversión en 8 años (miles de euros)	Índice de Bienestar
1	Molí Nou - Ciudad Cooperativa	9,566	0.88	10,870.45	11,113	82.25
2	Marianao - Can Paulet	31,951	2.38	13,424.79	11,370	107.14
3	Barri Centre	14,575	1.04	14,014.42	22,776	112.79
4	Els Vinyets - Molí Vell	15,815	0.85	18,605.88	11,553	100.12
5	Camps Blancs	4,963	1.21	4,101.65	9,619	78.12
6	Casablanca	5,632	0.24	23,466.67	23,888	85.43
7	Ciudad	82,402	6.60	12,500.30	15,063	100.00
<b>Total</b>		82,502	6.60	12,500.30	105,383	100.00

Tabla 4.2. Principales características demográficas y económicas de los distritos de Sant Boi de Llobregat

Fuente: Ajuntament de Sant Boi de Llobregat (2016)

Esta variable favorece a los territorios que han recibido menor inversión por la administración pública municipal en los últimos años. La Tabla 4.3 muestra los resultados del CET en ascendente. Un CET menor (Distrito 3) indica que la inversión en ese distrito será menos necesaria, que una planeada en el Distrito 4.

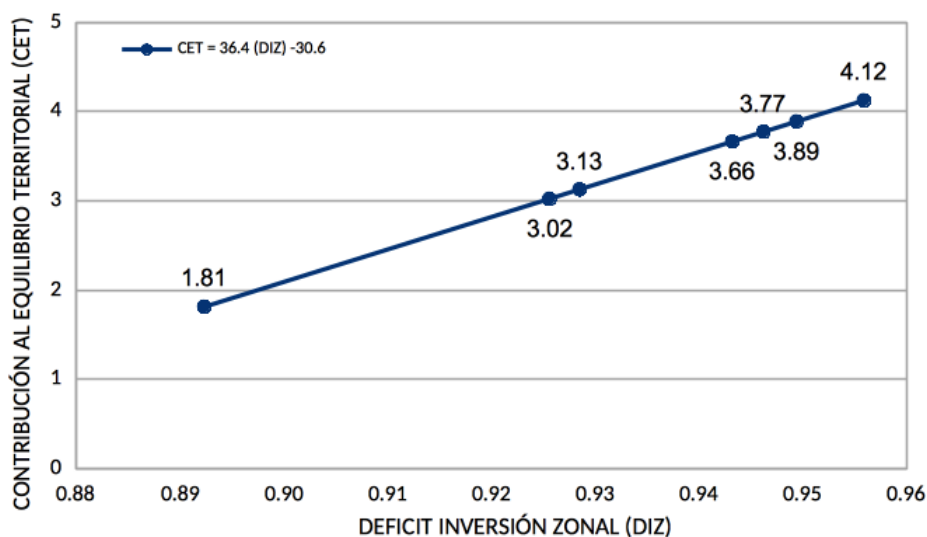
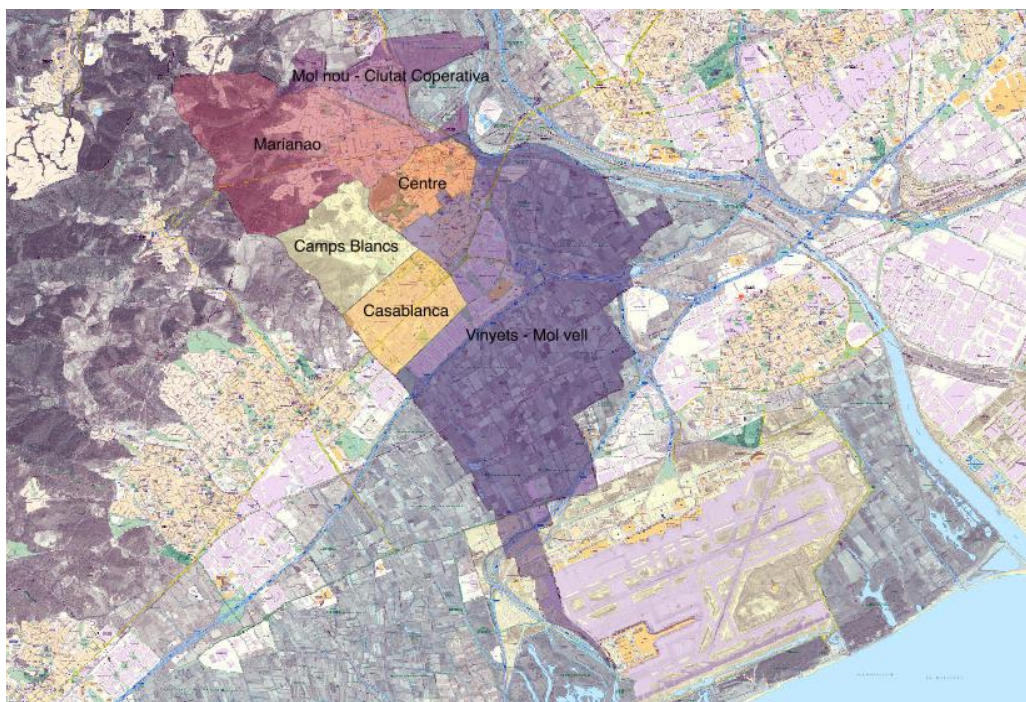


Figura 4.2. Obtención del factor Contribución al Equilibrio Territorial CET

Distrito		CET
3	Barri Centre	1.81
6	Casablanca	3.02
7	Ciutat total	3.13
5	Camps Blancs	3.66
2	Marianao-Can Paulet	3.77
1	Molí Nou – Ciutat cooperativa	3.89
4	Els Vinyets – Molí Vell	4.12

Tabla 4.3. Contribución al equilibrio territorial por distrito

La Figura 4.3 muestra la ubicación de los diferentes distritos que forman parte de Sant Boi de Llobregat. La superficie específica utilizada para el cálculo del CET aparece en los planos mostrados en el Anexo 2.



*Figura 4.3. Distribución espacial de Distritos de Sant Boi de Llobregat.*

Fuente: Ajuntament de Sant Boi de Llobregat (2017)

#### **4.2.2. Abasto de la actuación (AbA).**

El Abasto de la actuación (AbA) evalúa cuál es la magnitud del problema que resuelve la inversión planteada, e incluye dos conceptos diferentes:

- Porción de Sant Boi Servido (PSBS).
- Relevancia de la inversión (ReI).

**Porción de Sant Boi servido (PSBS):** Valora la población potencial que se puede beneficiar de un servicio. Toma en cuenta la diferencia que puede existir entre los proyectos que tendrán un carácter local y aquellos que tienen el potencial de beneficiar a toda, o una gran parte de la ciudad. A mayor porción de población servida por un proyecto, la puntuación será mayor



Porción de Sant Boi servido (PSBS)		
Atributo	Descripción	Puntuación
Puntual	Inversión que sirve a una pequeña parte de los ciudadanos de un solo barrio de la ciudad	1
Barrio	Inversión que sirve mayoritariamente a los ciudadanos de un solo barrio de la ciudad	3
Ciudad	Inversión que responde a un interés general y cuyo impacto llega a gran parte de la sociedad de la ciudad	5

Tabla 4.4. Puntuaciones de los atributos para Porción Sant Boi Servida, PSBS

**Relevancia de la inversión (ReI):** su valoración permite diferenciar las inversiones que esenciales en el desarrollo de la vida de las personas, por lo que deben ser garantizados en todo momento. Las inversiones que responden a una necesidad de la que se puede prescindir reciben una menor puntuación. La clasificación establecida para valorar la ReI tiene cuatro categorías: complementaria, importante, prioritaria, imprescindible, como se puede ver en la Tabla 4.5.

Relevancia de la inversión (ReI)		
Atributo	Descripción	Puntuación
Complementaria	Inversión de la que se puede prescindir sin perjuicio a la población	1
Importante	Inversión que no siendo imprescindible ni prioritaria enmienda una situación destacable	3
Imprescindible	Inversión indispensable, esencial, vital y obligatoria	5

Tabla 4.5. Puntuaciones de los atributos para Relevancia de la inversión, ReI

Para evaluar el indicador Alcance de la Actuación, se propone la expresión 13.

(13)



donde:  $\beta_1 + \beta_2 = 1$ . Estos coeficientes representan el peso de cada variable y se determinan por asignación directa, en este caso se ha definido:  $\beta_1 = 0.5$  y  $\beta_2 = 0.5$ .

#### **4.2.3. Alineación de la actuación con los ejes estratégicos de la ciudad: Valores Sant Boi (VSB).**

Mide el potencial que tiene la inversión de cumplir con la visión de ciudad que se han planteado sus pobladores y gobernantes. Está en función de los siguientes factores:

**Estado actual de la actuación (EsA):** Mide la cantidad de la inversión que ya ha sido realizada en un proyecto municipal en ejecución. A mayor porcentaje ya invertido en el proyecto evaluado, mayor será su valoración, por la conveniencia de culminar proyectos en marcha antes que iniciar nuevos.

Estado actual de la actuación (EsA)		
Atributo	Descripción	Puntuación
0	No se ha iniciado la actuación	1
0 a 25	La inversión se encuentra en un rango de ejecución de hasta el 25%	2
25 a 50	La inversión se encuentra en un rango de ejecución de entre el 25% y 50%	3
50 a 75	La inversión se encuentra en un rango de ejecución de hasta el 50% y 75%	4
>75%	La inversión se encuentra en un rango de ejecución mayor al 75%	5

Tabla 4.6. Puntuaciones de los atributos para Estado Actual de la Actuación, EsA.

**Alineación con Ejes Sant Boi (ASB).** En este apartado se valora en qué medida cada una de las inversiones contribuye al cumplimiento de los valores ciudad que se ha propuesto el Ayuntamiento. El Ayuntamiento de Sant Boi de Llobregat, en su Plan de Gobierno 2015-2019 define las principales prioridades, retos y medidas estratégicas que se abordarán en la legislatura actual, en base a tres cualidades: ciudad igualitaria, amable y emprendedora. Fruto de un proceso participativo que incluyó la visión de fuerzas políticas

e iniciativas ciudadanas, se definieron los siguientes ejes estratégicos (Ajuntament de Sant Boi de Llobregat, 2017):

- Cobertura necesidades básicas de la ciudadanía: Garantizar la calidad de vida de la población generando oportunidades de mejora de la riqueza y bienestar de los vecinos.
- Mejora del nivel educativo de la población: Mejorar las capacidades y conocimientos de la población para incrementar la probabilidad de ocupación de la ciudadanía.
- Mejora del espacio público: Voluntad de reconectar la población con los espacios de la ciudad para mejorar la interacción y socialización de los vecinos y las instituciones.
- Mejora de la gestión de residuos urbanos: Fomentar la concienciación ciudadana en las buenas praxis para la gestión de los residuos urbanos.
- Ciudad económicamente atractiva: Potenciar la generación de un tejido empresarial y económico, creando oportunidades de empleo de la población.

Para la evaluación de ASB se establecen cinco categorías, como muestra la Tabla 4.7:

Alineación con ejes Sant Boi (ASB)					
Ejes estratégicos (EjE <sub>i</sub> )	No evalúa	Baja	Media	Alta	Esencial
Cobertura necesidades básicas	1	2	3	4	5
Mejora del nivel educativo de la población	1	2	3	4	5
Mejora del espacio público	1	2	3	4	5
Mejora de la gestión de residuos urbanos	1	2	3	4	5
Ciudad económicamente atractiva	1	2	3	4	5

Tabla 4.7. Puntuaciones de los atributos para Alineación Ejes Sant Boi, ASB

Para calificar estos atributos, así como otros que se verán más adelante, se incluye la alternativa de "No Evalúa" que corresponde al caso de que la inversión analizada no se

pueda calificar bajo estos criterios. Esta opción de valoración corresponde a la calificación de uno (1), para tener una continuidad numérica en la valoración de los atributos.

Para calcular la puntuación final de la variable ASB, los niveles de alineación con los ejes estratégicos se relacionan según la ecuación 14, que es la media de un sumatorio de las puntuaciones más altas.

$$ASB = \left( \sum_{i=1}^n E_j E_i \cdot \frac{1}{n} \right) \quad (14)$$

donde

$i = 1$  es el valor del  $E_j E$  más elevado de los cinco existentes.

$i = n$  es el último valor de  $E_j E$  más alto considerado, de entre los cinco existentes

En este caso, el valor escogido es  $n=3$ .

La puntuación final de la variable Valores Sant Boi (VSB) se obtiene de la suma ponderada de las variables EsA y ASB tal como se puede ver en la ecuación 15.

$$VSB = \delta_1 \cdot EsA + \delta_2 \cdot ASB \quad (15)$$

donde  $\delta_1 + \delta_2 = 1$  con pesos a definir. En este caso se propone dar unos valores parejos, así:  $\delta_1 = 0.5$  y  $\delta_2 = 0.5$ .

#### 4.2.4. Evaluación de la Situación Previa (ESP).

La Evaluación de la Situación Actual (ESP) estima cómo se ha llevado a cabo un servicio en un determinado entorno hasta el momento en que se plantea realizar la nueva inversión para ofrecer el mismo servicio o uno sustituto. El ESP compone de las variables.

**Condiciones del Servicio Actual (CSA):** Valora el nivel del servicio que se ofrece con los recursos actuales. Cuanto más adecuado sea el servicio en operación, menos necesaria será la realización de una inversión, y por tanto obtendrá menor puntuación. Para realizar la evaluación de esta variable se analiza el servicio desde los siguientes enfoques:

- Estado de conservación (EsC): Estado en que se encuentra el servicio en operación.
- Grado de proximidad (GrP): Estudia sobre la proximidad de alternativas al servicio.
- Obsolescencia técnica (ObT): Analiza el estado de uso del servicio.

Atributo	Descripción	Puntuación
<b>Estado de conservación (EsC)</b>		
No evalúa	Este servicio no se puede analizar desde esta perspectiva	1
Alto	El servicio se encuentra en condiciones adecuadas para seguir funcionando. Si necesita adecuaciones necesarias, son accesorias	2
Adecuado	El servicio puede seguir siendo ofrecido en condiciones adecuadas, aunque necesita adecuaciones menores	3
Bajo	El servicio necesita una nueva inversión debido a su mal estado, aunque puede seguir en funcionamiento bajo una condiciones limitadas	4
Sin alternativa	No existe una alternativa que pueda ofrecer el servicio	5
<b>Grado de proximidad (GrP)</b>		
No evalúa	Este servicio no se puede analizar desde esta perspectiva	1
Alto	Servicio localizado (se ofrece en uno o más puntos del barrio)	2
Adecuado	Servicio deslocalizado (se ofrece de forma centralizada a nivel de distrito)	3
Bajo	Servicio muy deslocalizado (se ofrece de forma muy centralizada, fuera del distrito)	4
Sin alternativa	No existe una alternativa que pueda ofrecer el servicio	5
<b>Obsolescencia técnica (ObT)</b>		
No evalúa	Este servicio no se puede analizar desde esta perspectiva	1
Actualizada	Tecnología nueva (vida < 1/3 vida útil)	2
Adecuado	Tecnología moderna (1/3 vida útil < vida < vida útil)	3
Obsoleta	Ha superado su vida útil	4
Sin alternativa	No existe una alternativa que pueda ofrecer el servicio	5

Tabla 4.8. Puntuaciones de los atributos para Condiciones del SA: EsC, GrP, ObT

El valor final de la variable Condición del Servicio Actual (CSA) se obtiene de coger el valor más alto obtenido de entre las variables analizadas, como muestra la ecuación 16.

$$CSA = \max(EsC, GrP, ObT) \quad (16)$$

**Saturación del Servicio Actual (SSA).** Valora el grado de aprovechamiento que se está dando al servicio existente. Es decir, confronta la oferta con la demanda. Si hay mucha oferta y poca demanda, no será necesario promover otra inversión para este servicio, pero si la demanda sobrepasa la oferta, evidentemente serán necesarias nuevas alternativas de servicio.

Saturación del servicio actual (SSA)		
Atributo	Descripción	Puntuación
Infrautilizada	Relación demanda/oferta inferior al 50%	1
Correcta	Relación demanda/oferta entre el 51 y el 75%	2
Saturada	Relación demanda/oferta entre el 76 y el 100%	3
Sobresaturada	Relación demanda/oferta superior al 100%	4
No hay servicio	No se ofrece actualmente ningún servicio	5

Tabla 4.9. Puntuaciones de los atributos para Saturación Servicio Actual, SAA

La puntuación final de la variable Evaluación de la Situación Previa (ESP) se obtiene del sumatorio ponderado de las variables independientes CSA y SSA, según se indica en la ecuación 17. El peso de cada una de las variables debe quedar establecido de acuerdo con el criterio técnico de los responsables del Ayuntamiento.

$$ESP = \gamma_1 \cdot CSA + \gamma_2 \cdot SSA \quad (17)$$

donde:  $\gamma_1 + \gamma_2 = 1$ . Este coeficientes representan el peso de cada variable y se determinan por asignación directa. Una propuesta inicial sería:  $\gamma_1 = 0.5$  y  $\gamma_2 = 0.5$

#### 4.2.5. Cuantificación de la Homogeneización de Inversión (HI).

El objetivo de este apartado es la cuantificación del factor de Homogeneización de la Inversión (HI). Una forma razonable de relacionar las diferentes variables es mediante un sumatorio ponderado según su importancia relativa. Así, la expresión genérica que permite cuantificar el HI es la que se presenta en la expresión 18:

$$HI = (w_{CET} \cdot CET) + (w_{AbA} \cdot AbA) + (w_{VSB} \cdot VSB) + (w_{ASP} \cdot ASP) \quad (18)$$

Donde:  $w_{CET}$ ,  $w_{AbA}$ ,  $w_{ASP}$ ,  $w_{VSB}$  son coeficientes que representan el peso parcial de cada variable, Así:  $w_{CET} + w_{AbA} + w_{ASP} + w_{VSB} = 1$

**Determinación de Coeficientes.** Ya se ha mencionado que para las asignación de pesos se puede utilizar dos métodos: asignación directa del peso en porcentaje, o Proceso de análisis jerárquico (AHP). En este caso de estudio, el método AHP ha sido el escogido.

Construcción de la matriz de comparación Mediante esta matriz se establece la comparación entre los factores que conforman la Homogeneización de la inversión. La matriz de comparación se ha definido de acuerdo con el criterio técnico de los responsables del Ayuntamiento de Sant Boi de Llobregat, según la Tabla 4.10.

	CET	AbA	VSB	ESP
CET	1	3	2	5
AbA	1/2	1	1	2
VSB	1/2	1	1	2
ESP	1/3	1/2	1/2	1

Tabla 4.10. Comparación entre pares de atributos, Fase I.

Consistencia de la matriz. El AHP mide la consistencia global de una matriz de comparación con la Relación de Consistencia (R.C) que debe ser menor al 10%. La R.C (ecuación 8) depende del índice de consistencia (ecuación 9) y del índice de consistencia aleatoria (Tabla 3.3), que para una matriz de 4x4 se 0.9.

$$CA = 0.9$$

$$\lambda_{\max} = 4.24$$

$$IC = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n-1)} = \frac{(4.24 - 4)}{3} = 0.085 \quad (19)$$

$$PC = \frac{IC}{CA} = \frac{0.08}{0.9} = 0.09 \quad (20)$$

Cálculo de pesos. El último paso es calcular el peso relativo de cada una de las variables.

Para conseguirlo se debe:

- Obtener una matriz normalizada (N), dividiendo cada elemento de la columna y de la matriz anterior por la suma de los elementos de su columna.

$$N = \begin{bmatrix} 0.43 & 0.55 & 0.44 & 0.50 \\ 0.22 & 0.18 & 0.22 & 0.20 \\ 0.13 & 0.18 & 0.22 & 0.20 \\ 0.13 & 0.09 & 0.11 & 0.10 \end{bmatrix}$$

- Estimar el vector de pesos calculando la media de cada fila de la matriz normalizada.

$$\begin{bmatrix} w_{CET} \\ w_{Ala} \\ w_{VSB} \\ w_{ESP} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.48 \\ 0.21 \\ 0.21 \\ 0.11 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.5 \\ 0.2 \\ 0.2 \\ 0.1 \end{bmatrix}$$

Así, los pesos de la Fase I quedan conformados como sigue:

<b>Indicador</b>	<b>Peso w (%)</b>	<b>Factor</b>	<b>Peso w (%)</b>
Contribución al equilibrio territorial (CET)	50	Densidad de población (DeP)	50
		Renta (REN)	50
Abasto de la Actuación (ABA)	20	Porción Sant Boi (PSB)	50
		Relevancia de la inversión (ReI)	50
Alineación con ejes estratégicos: Valores Sant Boi (VSB)	20	Estado de la Inversión (EsI)	50
		Alineación con ejes Sant Boi (ASB)	50
Evaluación de la Situación Previa (ESP)	10	Condición del Servicio Actual (CSA)	50
		Saturación del Servicio Actual (SSA)	50
Total (%)	100	Total (%)	100

Tabla 4.11. Resultados de la asignación de pesos de la Fase I.

Por tanto:

$$HI = (0.5 \cdot CET + 0.2 \cdot AbA + 0.2 \cdot VSB + 0.1 \cdot ESP) \quad (21)$$

### 4.3. FASE II: Evaluación de la Sostenibilidad de las Inversiones.

El ISPIM, estructurado a través de un árbol de requerimientos basado en el modelo MIVES (Figura 3.1), es un índice que realiza una evaluación determinista del grado de sostenibilidad que tiene intrínseco toda inversión municipal, pensando en sus consecuencias ambientales, sociales y económicas. Estos tres conceptos, ejes de la sostenibilidad, son los tres requerimientos a través de los cuales se articula el árbol.

El resultado final del ISPIM de cada una de las inversiones se obtiene gracias al sumatorio del valor de cada indicador  $IV_j (A_j, x)$ , ponderado en tres niveles, integrando el peso relativo de cada indicador, criterio y requerimiento, según se muestra tanto en el árbol de requerimientos de la Figura 4.4 como la ecuación 22. Los pesos de los requerimientos se obtienen de ajustar los valores obtenidos mediante el proceso AHP, mientras que los pesos de criterios e indicadores, son resultado de la asignación directa.



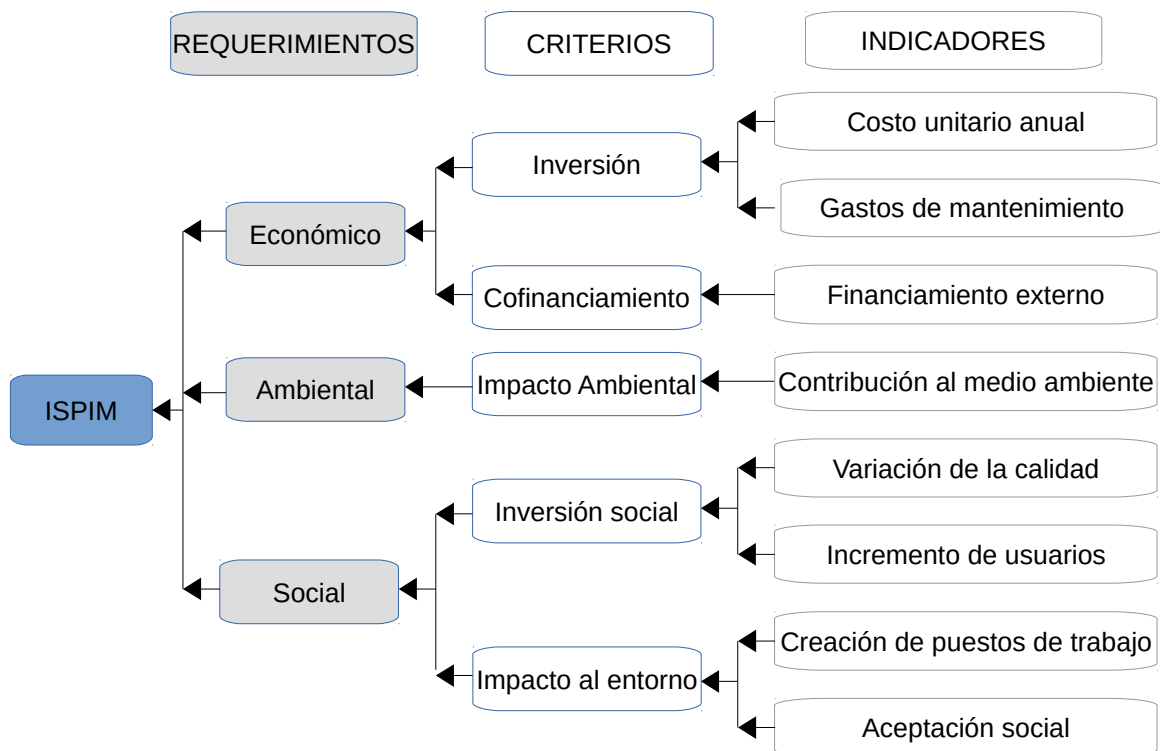


Figura 4.4: Árbol de requerimientos Fase II

$$ISPIM = \sum k_{Rt} \cdot k_{Cy} \cdot k_{Ij} \cdot IV_j(A_x) \quad (22)$$

Donde:

ISPIM es el índice resultado del análisis.

Ivj(Ax) es el valor jésimo de la alternativa x.

$k_{Rt}$ ,  $k_{Cy}$  y  $k_{Ij}$  son los pesos de cada requerimiento, criterio e indicador, respectivamente.

#### 4.3.1. Requerimiento económico.

Este requerimiento valora el uso que se da a los recursos económicos que están a disposición de la institución que debe tomar la decisión de invertir. Existen muchas necesidades, pero los presupuestos limitados hacen que se deba escoger aquellas más prioritarias. En este caso el requerimiento económico se compone los siguientes criterios: Inversión y Co-financiamiento.

#### 4.3.1.1. Inversión.

A través de este criterio se evalúa si la inversión analizada es equilibrada en el tiempo y en función del servicio que se quiere ofrecer a los ciudadanos. Se compone de dos indicadores Costo unitario anual y Gastos de explotación.

**Costo unitario anual (CUA):** Este indicador es útil para poder comparar inversiones realizadas en servicios donde se proyectan vidas útiles diferentes, y también se considera el concepto Homogeneización de la Inversión (HI) para relacionarlo a su alineamiento con las necesidades del ayuntamiento. El valor de CUA se obtiene dividiendo el coste anual total para los años proyectados de vida útil del proyecto, y para el coeficiente HI (ecuación 18). A menor coste de la inversión por año, mejor puntuación obtendrá el proyecto en este indicador, y mientras menor sea el valor de HI (mayor la necesidad de esta inversión en determinado territorio), mejor puntuado estará.

$$CUA = \frac{\text{Inversión inicial}}{VU_{total} \cdot HI} \quad (23)$$

Donde:

*Inversión Inicial* es la cantidad total presupuestada para realizar la obra (en euros).

$VU_{total}$  son los años que se prevé que se pueda explotar la inversión.

Función de valor. La función de valor determinada es una función decreciente con forma de “S”, donde el valor máximo a obtener responda al mínimo valor del Coste Unitario Anual (CUA). La función elegida se muestra en la Figura 4.5, donde el punto de mínima satisfacción está situado en (50,000; 0) y el de máxima satisfacción a (0; 1). El valor de las abscisas ha sido limitado en función de los costes unitarios anuales que normalmente tienen los proyectos de inversión analizados en este caso de estudio, si no fuera así, este valor podría tener ser mucho más elevado, y provocar respuestas nulas para inversiones más pequeñas.

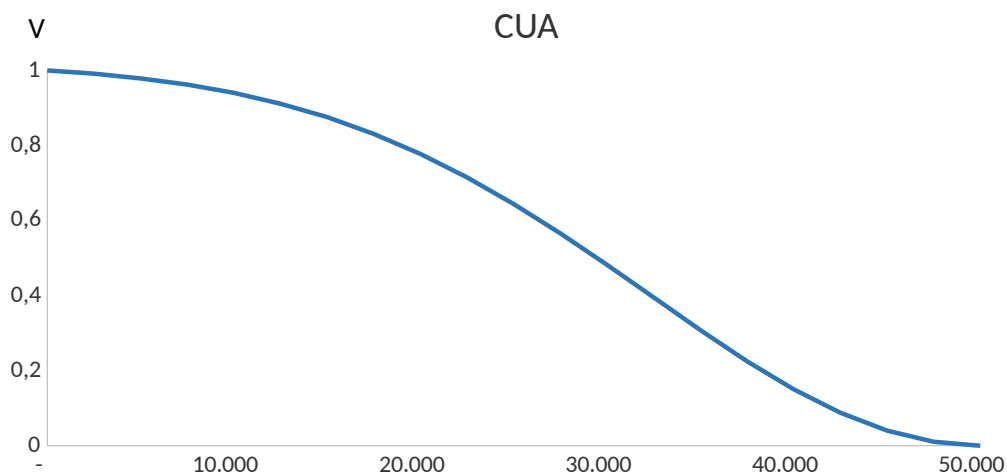


Figura 4.5. Función de valor del indicador CUA

$$V = 1.018 \cdot \left[ 1 - e^{-1 \left( \frac{|X - 50,000|}{25,000} \right)^{(2)}} \right] \quad (24)$$

**Variación de gastos de explotación (VEx):** Este indicador representa la inversión económica a largo plazo que el Ayuntamiento deberá garantizar para que la inversión siga siendo capaz de ofrecer el servicio para el cual está siendo creada a lo largo de la vida útil proyectada. Esta variación puede ser positiva (aumento de los gastos de mantenimiento) o negativa (si hay una reducción de estos gastos). Para valorar cuál será la variación en los costes de explotación, normalmente se incluyen dos conceptos:

Costes de mantenimiento: acciones y elementos necesarios para garantizar que el servicio se mantenga con la calidad programada, por ejemplo, costes de repuestos.

Costes de operación: acciones y elementos necesarios para garantizar que el servicio se mantenga en funcionamiento, por ejemplo, costes de personal.

Para valorar el VEx se compara Gasto Futuro (DFU) con el Gasto Actual (DAc), de acuerdo a la ecuación 25. En este indicador, también se integra el factor HI para considerar el grado de alineación con el modelo de ciudad que se busca.

$$VEx = \frac{DFu - DAc}{DAc} \cdot 100 \cdot HI \quad (25)$$

$$VEx = \frac{(CMF + COF) - (CMA - COA)}{(CMA + COA)} \cdot 100 \cdot HI \quad (26)$$

Donde:

$DFu$  es el gasto futuro,  $DAc$  es el gasto actual,  $CMF$  es el costo de mantenimiento futuro,  $COP$  es el costo de operación futura,  $CMA$  es el costo de mantenimiento actual, y  $COA$  es el costo de operación actual

Con el planteamiento actual, en el que no hay un desarrollo detallado de los proyectos, es muy difícil aplicar esta fórmula de forma íntegra, por tanto, la alternativa más razonable de realizar esta valoración es mediante atributos. Por esta razón se presenta la Tabla 4.12 y la ecuación 27 con las que se medirá este indicador de forma más práctica.

Variación de gastos de explotación ( $\Delta VE$ )		
Atributo	Descripción	Puntuación
Gran aumento	Genera un incremento muy grande de los gastos de mantenimiento	1
Pequeño aumento	Genera un incremento pequeño de los gastos de mantenimiento	2
Nulo/marginal	Variación marginal de los gastos de mantenimiento	3
Ahorro	Genera un pequeño ahorro de los gastos de mantenimiento	4
Gran ahorro	Genera un gran ahorro de los gastos de mantenimiento	5

Tabla 4.12. Puntuaciones de los atributos para Variación de los gastos de explotación,  $VEx$

$$VEx = \Delta VE \cdot HI \quad (27)$$

Función de valor: La función de valor prevista es creciente y cóncava (Figura 4.6). La satisfacción aumenta a medida que aumenta el ahorro y el coeficiente  $HI$ . El punto de mínima satisfacción es el situado en (1; 0) y el de máxima satisfacción en (25; 1). La fórmula 28 representa la forma matemática de la función de valor  $VEx$ .

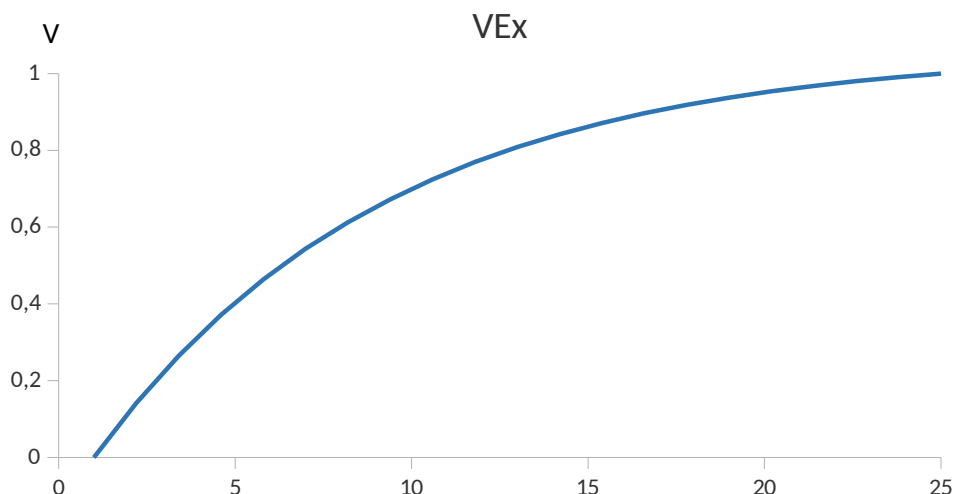


Figura 4.6. Función de Valor del indicador VEx

$$V = 1.059 \cdot \left[ 1 - e^{-3 \left( \frac{|X-1|}{25} \right)^{(1)}} \right] \quad (28)$$

#### 4.3.1.2. Co-financiamiento.

Valora los posibles retornos económicos que puede generar la inversión. Las inversiones públicas pocas veces tendrán un retorno monetario (el retorno es el servicio social que ofrecen), por eso en este caso sólo se valora la posibilidad de obtener recursos que ayuden a hacer frente a la inversión, por ello, se considera como indicador, la posibilidad de Financiamiento Externo de la Inversión.

**Financiamiento externo de la inversión (FEI):** Para las administraciones públicas municipales, encontrar fórmulas que permitan financiar una parte o la totalidad de algunas de sus actuaciones es una gran ventaja, ya que les permite ofrecer servicios que de otra manera no estarían en capacidad de costear. Este indicador evalúa la posibilidad de cubrir la inversión con capital no propio, proveniente de fondos públicos fuera del Ayuntamiento (públicos o privados).

Este indicador está formado por dos variables:

- **Probabilidad de conseguir financiación externa (PrF):** Evaluación de la probabilidad de conseguir financiación externa para la realización de la obra a partir de comparar con otras obras similares.

- **Cantidad de financiación externa (CaF):** Evalúa cualitativamente el porcentaje de la inversión inicial que podría quedar financiada con capital ajeno al Ayuntamiento.

La valoración de estas variables, se da a través de los atributos establecidos en el Tabla 4.13. Estos valores se combinan da a través de la ecuación 29, en la que también interviene la homogeneización de la inversión de forma.

$$FEI = PrF \cdot CaF \cdot HI \quad (29)$$

Atributo	Descripción	Puntuación
<b>Probabilidad de Financiamiento (PrF)</b>		
Menos del 20%	Casi nula probabilidad de obtener financiamiento externo	1
Entre 20 y 40%	Es un tipo de inversión que rara vez obtiene financiamiento externo	2
Entre 40 y 60%	Es una inversión que no se sabe qué tipo de aceptación tendrá aunque está alineada con los valores que promueven los inversores.	3
Entre 60 y 80%	Es una actuación que ha tenido una acogida muy positiva entre otros lugares por lo que se cree que será fácil obtener financiación.	4
Mayor al 80%	Hay un compromiso firme de financiación si la inversión se realiza	5
<b>Cantidad de Financiamiento (CaF)</b>		
Menos del 10%	Una parte muy pequeña de la inversión	1
Entre 10 y 30%	Una parte pequeña de la inversión	2
Entre 30 y 50%	Aproximadamente la mitad de la inversión	3
Entre 50 y 70%	Una parte importante de la inversión	4
Mayor al 70%	Casi toda la inversión	5

Tabla 4.13. Puntuaciones de los atributos para Co-financiamiento: PrF, CaF

**Función de valor:** Se prevé una función creciente en forma de S, con un valor que aumenta a medida que lo hace el financiamiento (en probabilidad y cantidad), y el coeficiente HI. El punto de mínima satisfacción se sitúa en (1;0), y el de máxima en (125;1), porque se entiende que no se quieren priorizar valores pequeños del indicador, y que en cierto punto se satura la satisfacción y un aumento no es significativo.

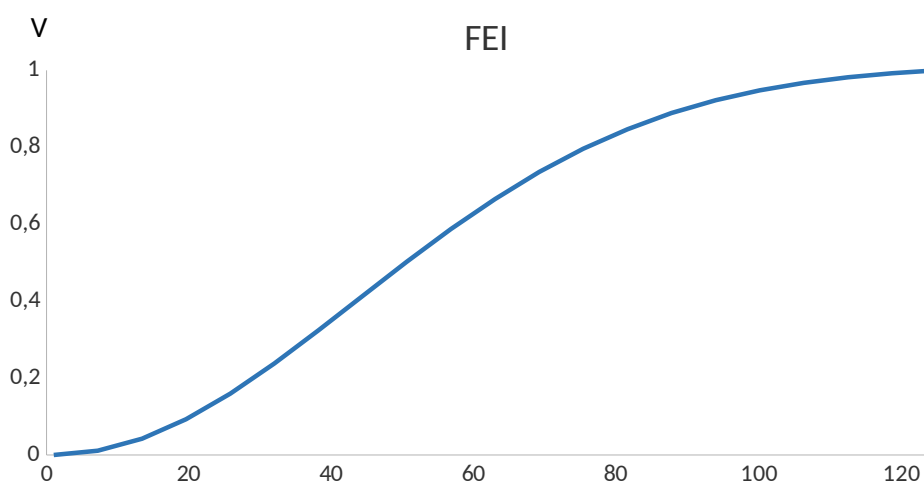


Figura 4.7. Función de valor del indicador FEI

$$V = 1.014 \cdot \left[ 1 - e^{-3 \left( \frac{|X-1|}{60} \right)^{(2)}} \right] \quad (30)$$

#### 4.3.2. Requerimiento ambiental.

El Ayuntamiento de Sant Boi de Llobregat tiene entre sus funciones conservar el entorno natural de la ciudad. Para valorar cómo las inversiones analizadas contribuyen a este propósito, el criterio a analizar es el Impacto Ambiental de los proyectos.

##### 4.3.2.1. Impacto Ambiental.

Este criterio se define como los efectos, directos o indirectos, que una inversión podría causar sobre los diferentes elementos del medio ambiente, y la posible afectación a las interrelaciones existentes entre estos elementos.

Para que un proyecto pueda ser ejecutado, existen normativas que exigen estudios de impacto ambiental que den como resultado una serie de medidas para prevenir, controlar y minimizar los posibles impactos ambientales negativos de las inversiones. Así, únicamente los proyectos que cumplan con estos requerimientos previos, pueden pasar a ser considerados para su implementación. Por este motivo, para evaluar este criterio se ha considerado un único indicador: Contribución al Medio Ambiente (CMA).

**Contribución al Medio Ambiente (CMA):** Evalúa el impacto positivo de las inversiones en distintos campos relacionados a la calidad ambiental. Para valorar estos impactos se establecen las variables de Política Activa, PoA, que se calificarán por atributos.

- **Mejora en la mitigación del cambio climático.** La inversión tiene características que permiten cambiar el modelo energético, intentando reducir el consumo (ahorro y eficiencia), incrementar la autogeneración de energía con fuentes renovables y optimizar las redes de infraestructuras ya existentes. El objetivo es avanzar hacia una ciudad autosuficiente y de emisiones cero.
- **Mejora en la adaptación al cambio climático:** La inversión permite mejorar la interrelación entre ciudad y medio ambiente, buscando desde la perspectiva de sostenibilidad la mejora de la convivencia. Un ejemplo de una medida en este sentido es la adaptación de la morfología urbana a las condiciones bioclimáticas autóctonas.
- **Mejora en la gestión de residuos:** La inversión permite el mejoramiento de la gestión de residuos, dirigiéndose hacia un modelo de economía circular.
- **Mejora en la eficiencia en el uso del agua:** La inversión contempla medidas que llevan hacia la gestión integral del ciclo del agua en la que se tengan en cuenta los recursos, la demanda y los hábitats.
- **Mejora de la calidad del aire:** La inversión promueve medidas que garantizan que la calidad esté dentro de los límites legales permitidos. Por ejemplo, medidas para la reducción de emisiones provenientes de la movilidad motorizada.
- **Mejora de la calidad acústica:** La inversión promueve la disminución del nivel de ruido en la ciudad, de manera que no afecta a sus habitantes.
- **Mejora de la biodiversidad y los espacios verdes:** La inversión potencia y conserva la biodiversidad así como fomenta la implantación de espacios naturales en el entorno urbano.



- **Mejora en la adecuación paisajística:** La inversión es capaz de mejorar espacios degradados. Por ejemplo, la recuperación de espacios asociados a la cultura, tradiciones de la ciudad, y áreas verdes de la ciudad.

Contribución al Medio Ambiente					
Indicador (PoA <sub>i</sub> )	No evalúa	Baja	Media	Alta	Muy alta
Mejora en la mitigación del cambio climático	1	2	3	4	5
Mejora en la adaptación al cambio climático	1	2	3	4	5
Mejora en la gestión de residuos	1	2	3	4	5
Mejora en la eficiencia en el uso de agua	1	2	3	4	5
Mejora en la calidad del aire	1	2	3	4	5
Mejora en la calidad acústica	1	2	3	4	5
Mejora de la biodiversidad en espacios verdes	1	2	3	4	5
Mejora de la adecuación paisajística	1	2	3	4	5

Tabla 4.14. Puntuaciones de los atributos para Contribución al Medio Ambiente (CMA)

El cálculo de la puntuación que logrará el indicador CMA, se plantea la siguiente fórmula, que es la sumatoria de las puntuaciones más altas de las políticas, amplificadas por el coeficiente HI.

$$CMA = \left( \sum_{i=1}^n PoA_i \cdot \frac{1}{n} \right) \cdot HI \quad (31)$$

Donde:

$i = 1$  es el valor del PoA más elevado de los existentes

$n = 4$  es el cuarto valor más alto de PoA (se descarta los valores más bajos que este)

**Función de valor:** La función planteada para este indicador tiene forma creciente y convexa leve, donde el valor aumenta a medida que lo hace la aportación ambiental y el coeficiente HI. El punto de mínima satisfacción están en (0;1), y el de máxima en (25;0)

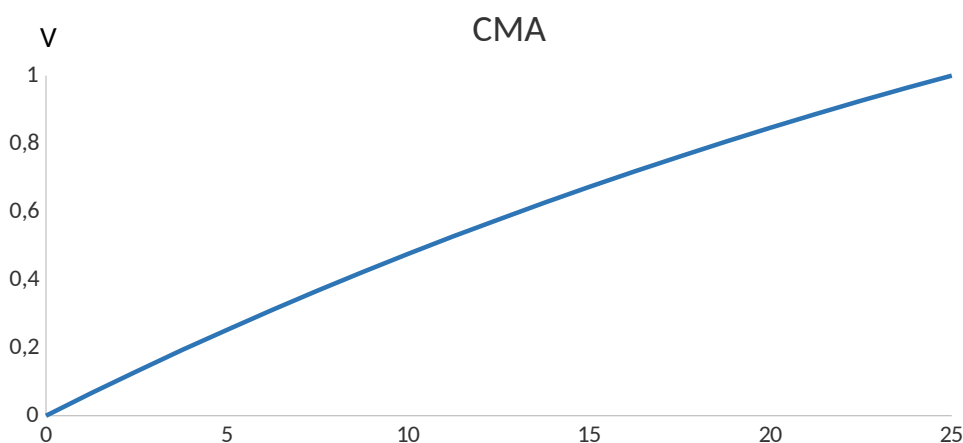


Figura 4.8. Función de valor CMA

$$V = 2.15 \cdot \left[ 1 - e^{-2 \left( \frac{|X-1|}{25} \right)^{(1)}} \right] \quad (32)$$

#### 4.3.3. Requerimiento social.

Con este requerimiento, que valora las consecuencias del proyecto sobre la comunidad, y se completa la conceptualización de sostenibilidad para los proyectos evaluados. Para evaluar este requerimientos, se han considerado dos criterios: Inversión social e Impacto en el entorno.

##### 4.3.3.1. Inversión Social.

Todos los proyectos promovidos por los gobiernos tienen implícita la finalidad de mejorar las condiciones de vida de la ciudadanía, ya sea de forma directa o indirecta. Esto se logra mejorando tanto la calidad y cantidad de los servicios públicos que demanda la ciudadanía como servicio social. Por ello, se han considerados dos indicadores: Variación de la Calidad en Bienestar e Incremento de usuarios.

**Variación de la calidad en bienestar (VCB).** Este indicador se evalúa a través de las siguientes variables:

- **Mejora de la seguridad:** La inversión minimiza los riesgos y amenazas de los ciudadanos, promueve la convivencia pacífica.
- **Mejora de la accesibilidad, comodidad y movilidad:** La inversión facilita el acceso, comunicación, y uso de los espacios o servicio públicos para todas las personas, independientemente de sus capacidades físicas.
- **Mejora de la cultura, educación y formación:** mejora las condiciones para el acceso al conocimiento, formación, y promoción cultural.
- **Mejora de la salud, higiene y promoción del deporte:** la inversión promueve los hábitos saludables de la población.
- **Mejora en la perspectiva de género:** la inversión promueve la mejora de las relaciones sociales de la población desde una perspectiva de género.
- **Mejora de la cohesión social:** La inversión permite reducir las desigualdades sociales, raciales, étnicas, de edad, culturales; y promover la integración de la población, a través de mejoras del tejido social

Estos campos se evalúan a través de 5 niveles de puntuación, que se muestran en la Tabla 4.15:

<b>Variación de la calidad en bienestar (VCB)</b>					
<b>Campo de Mejora (CaMi)</b>	<b>No Evalúa</b>	<b>Baja</b>	<b>Media</b>	<b>Alta</b>	<b>Esencial</b>
Mejora de la seguridad	1	2	3	4	5
Mejora de la accesibilidad, comodidad y movilidad	1	2	3	4	5
Mejora de la cultura, educación y formación	1	2	3	4	5
Mejora de la salud, higiene y promoción del deporte	1	2	3	4	5
Mejora en la perspectiva de género	1	2	3	4	5
Mejora de la cohesión social	1	2	3	4	5

Tabla 4.15. Puntuaciones de los atributos para Variación de la calidad en bienestar, VCB

Los niveles de mejora que se produce en cada campo se relaciona según la ecuación 33, sumatorio de las puntuaciones de los campos, amplificadas por el coeficiente HI de la infraestructura.

$$VCB = \left( \sum_{i=1}^n CaM_i \right) \cdot HI \quad (33)$$

donde

$i = 1$  es el valor del CaM más elevado de los cinco existentes

$n = 3$  es el tercer valor más alto de CaM (se descarta los valores más bajos que este)

**Función de valor:** Se plantea una función creciente en forma de S, donde el valor aumenta a medida que lo hace la aportación ambiental y el coeficiente HI. El punto de mínima satisfacción están en (4;0), y el de máxima en (75;0) porque se entiende que no se quieren priorizar mejoras mínimas, y que en cierto punto, el grado de mejora ambiental ya se satura y no es significativa la diferencia.

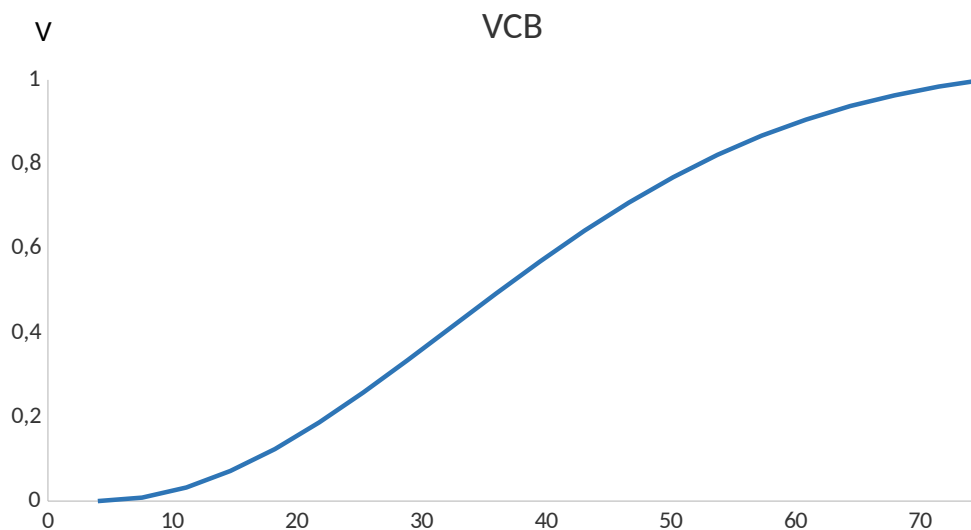


Figura 4.9. Función de valor VCA

$$V = 1,044 \cdot \left[ 1 - e^{-1 \left( \frac{|X-4|}{40} \right)^{(2)}} \right] \quad (34)$$

**Incremento de Usuarios (ICU).** Evalúa el incremento de capacidad, en número o flujo máximo de usuarios, que pueden utilizar una infraestructura o servicio determinado por unidad de tiempo, una vez implementado el proyecto. En muchos casos este indicador se puede evaluar de forma cuantitativa, en base a dos factores:

- Grado de saturación. Cuando la capacidad instalada de un servicio es insuficiente para satisfacer a la demanda.
- Ausencia del servicio. Cuando el servicio no se brinda de forma directa, o hay que trasladarse largas distancias para obtenerlo.

Para valorar el incremento de usuarios potenciales se compara la Capacidad Futura (CFu) alcanzada una vez realizada la inversión, versus la Capacidad Actual (CAc) que se ofrece por el mismo servicio (ecuación 35). En este caso, el valor final del indicador ICU está condicionado por el factor de Homogeneización de la Inversión (HI), pues cuanto más alineada esté la inversión con el modelo de ciudad, menos incremento de capacidad se le exige a inversión. Por otra parte, por mucha capacidad que genere una inversión, si está muy alejada del modelo de ciudad que se busca, esta debe ser penalizada.

$$ICU = \left( \frac{CFu - CAc}{CAc} \cdot 100 \right) \cdot HI \quad (35)$$

Donde:

*CFu* es la capacidad futura del servicio (n° de usuarios, superficie/usuario, tiempo/usuario, etc.), y *CAc* es la capacidad actual del servicio (n° de usuarios, superficie/usuario, tiempo/usuario, etc)

En una etapa en que los proyectos no cuentan con un diseño definitivo o detallado, la expresión 35 no siempre es aplicable, y la calificación por atributos nuevamente es la alternativa escogida. La forma de calificar este indicador se presenta en la Tabla 4.16 y la ecuación 36.

Variación en la capacidad (VCA)		
Atributo	Descripción	Puntuación
Muy Baja	El incremento de capacidad es muy reducido ( $\Delta$ Capacidad $\leq 10\%$ )	1
Baja	El incremento de capacidad es reducido ( $10\% < \Delta$ Capacidad $\leq 40\%$ )	2
Normal	El incremento de capacidad es intermedio ( $40\% < \Delta$ Capacidad $\leq 60\%$ )	3
Alta	El incremento de capacidad es significativo ( $60\% < \Delta$ Capacidad $\leq 80\%$ )	4
Muy alta	El incremento de capacidad es muy significativo ( $\Delta$ Capacidad $> 80\%$ )	5

Tabla 4.16. Puntuaciones de los atributos para s Variación de la Capacidad, VCA

$$ICU = VCA \cdot HI \quad (36)$$

Función de valor: Se plantea una función creciente y cóncava, donde el valor aumenta a medida que lo hace la capacidad y el coeficiente HI. El punto de mínima satisfacción están en (1;0), y el de máxima en (25;1). Esto obedece a dar relevancia a puntuaciones relativamente pequeñas en que se combine un incremento de capacidad con un cierto valor de alineación.

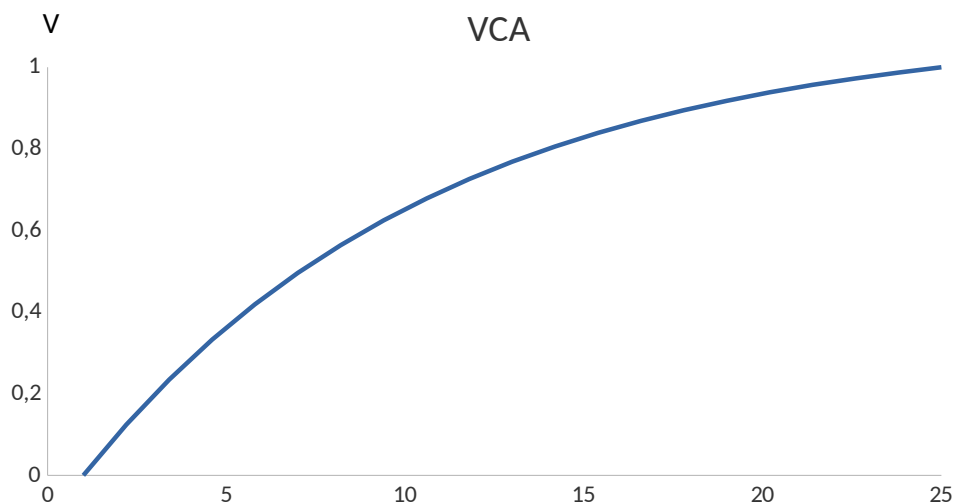


Figura 4.10. Función de Valor VCA

$$V = 1.099 \cdot \left[ 1 - e^{-2 \left( \frac{|X-1|}{20} \right)^{(1)}} \right] \quad (37)$$

#### 4.3.3.2. Impacto en el Entorno.

Este criterio pretende valorar la repercusión, positiva o negativa, que puede generar una infraestructura en las personas que convivirán con ella. Para valorar ambas posibilidades se han definido los siguientes indicadores: Creación de Puestos de Trabajo y Grado de Aceptación Social, considerados más significativos entre el grupo de impactos que se pueden generar en el seno de la sociedad civil.

**Creación de Puestos de Trabajo (CPT):** Este indicador mide los puestos de trabajo en las fases de construcción y explotación/operación de la inversión. Pretende priorizar aquellas inversiones que pueden crear más puestos de trabajo, a lo largo del tiempo. Con este fin, en este indicador se tienen en cuenta:

- **Fase de Construcción:**

**Empleos Construcción, en jornadas de 8 horas (EFC):** la ocupación generada en los sectores de la obra civil, a pesar de ser un período de corta duración, suele ser importante. Este indicador evalúa el número de jornadas de trabajo de 8 horas que serán necesarias para la construcción de una infraestructura. Sin embargo, aquí también se puede considerar los puestos de trabajo generados en

la concepción o planificación de un servicio social, educativo, o social, previo a su implementación (operación).

***Empleo en Construcción, por clausurado social:*** Presencia de trabajadores de clausurado social en el proyecto (trabajadores en situación de vulnerabilidad socio-económica).

- **Fase de explotación:**

***Empleos Explotación, en jornadas de 8 horas (EFE):*** Número de jornadas de trabajo de 8 horas que serán necesarias para la operación del proyecto.

***Empleo en Explotación, por clausurado social:*** Presencia de trabajadores de clausurado social en el proyecto.

Para evaluar de forma sencilla este indicador, se presenta la Tabla 4.17 donde se asigna una puntuación en función del rango en que se encuentra cada una de las tipologías de puesto de trabajo creada.

Creación de puestos de trabajo (CPT)		
Empleos Fase Construcción (EFC)	Empleos Fase Exploración (EFE)	Puntuación
$0 \leq EFC \leq 5$	$0 \leq EFE \leq 5$	1
$5 \leq EFC \leq 25$	$5 \leq EFE \leq 25$	2
$25 \leq EFC \leq 50$	$25 \leq EFE \leq 50$	3
$50 \leq EFC \leq 100$	$50 \leq EFE \leq 100$	4
$EFC > 100$	$EFE > 100$	5
Puestos por Clausurado Social (PCS)	Sí	1
	No	0

Tabla 4.17. Puntuaciones de los atributos para Creación de puestos de trabajo, CPT

Además de la puntuación por rango de los puestos de trabajo generados en las fases de construcción y explotación de las inversiones se dará un punto adicional en el caso de que en estas inversiones se den empleos por clausurado social, a excepción del máximo



nivel (>100 puestos de trabajos), en el que la puntuación ya se encuentra saturada por el número de plazas de empleo creadas.

La puntuación final del indicador estará dado por la expresión 38 en la que se combina los factores de cada fase de la inversión:

$$CLT = \rho_1 \cdot (LDC + PCS) + \rho_2 \cdot (EFE + PCS) \quad (38)$$

Donde:  $\rho_1 + \rho_2 = 1$ . Estos coeficientes representan el peso de cada variable, establecido por asignación directa. La propuesta inicial sería  $\rho_1 = 0.5$  y  $\rho_2 = 0.5$ .

Función de valor: Se ha establecido una función creciente y cóncava, donde el valor aumenta a medida que el número de puestos de trabajos generado es mayor. Debido a que la mayoría de las inversiones, no necesariamente requieren de una cantidad importante de mano de obra, esta función permite una mayor respuesta para inversiones que generan trabajo en los rangos más bajos. El punto de mínima satisfacción estará en (1;0), y el de máxima satisfacción estará en (5;1)

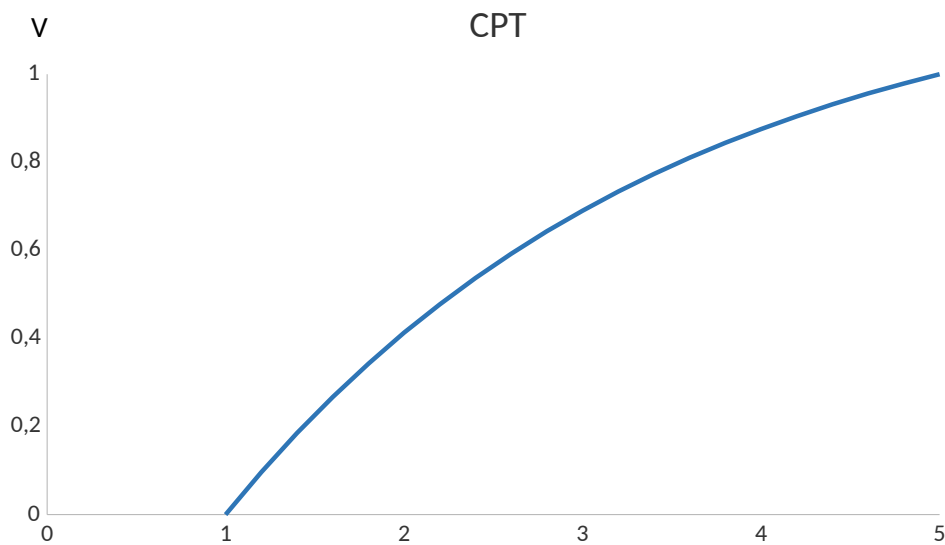


Figura 4.11. Función de valor CPT

$$V = 1.099 \cdot \left[ 1 - e^{-2 \left( \frac{|X-1|}{20} \right)^{(1)}} \right] \quad (39)$$

**Grado de Aceptación Social (GAS).** Este indicador representa la aprobación de la población ante la nueva inversión propuesta. La generación de una inversión siempre es motivo de debate entre los actores sociales con diferentes perspectivas. La opinión de los colectivos más cercanos es la que marca usualmente la tendencia de cómo será la aceptación, por lo que en primera aproximación, se puede tomar sólo este colectivo como el representativo de la aceptación. Para la evaluación de este indicador, se utilizan las siguientes variables que se calificarán por medio de atributos:

**Promoción Ciudadana (PrC):** Propuesta de construcción promovida por los propios vecinos, ya sea por el canal Te escuchamos, los procesos participativos u otras vías.

**Aceptación Social (AcS):** Análisis del grado de aceptación de la población cercana con la inversión propuesta.

Atributo	Descripción	Puntuación
<b>Promoción ciudadana (PrC)</b>		
Muy Baja	No ha habido acción al respecto.	1
Baja	No ha habido ninguna especificación pública de una demanda ciudadana, todo si conocimiento	2
Normal	Reciente introducción en el plan de actuación del distrito.	3
Alta	Acción promovida en uno de los diferentes canales de promoción.	4
Muy alta	Acción promovida en ambos canales de participación: te escuchamos o proceso participativo.	5
<b>Aceptación Social (AcS)</b>		
Muy Baja	Manifestaciones por parte de los vecinos con una periodicidad semanal.	1
Baja	Queja o reclamación puntual	2
Normal	Reciente introducción en el plan de actuación del distrito	3
Alta	Buena respuesta y acogida por parte de la población receptora.	4
Muy alta	Excelente respuesta y acogida en el barrio.	5

Tabla 4.18. Puntuaciones de los atributos para Grado de aceptación social GAS: PrC y AcS

La puntuación final del indicador estará dado por la expresión 40 en la que se combinan los factores de cada fase de la inversión:

$$GAS = \rho_1 \cdot PrS + \rho_2 \cdot AcS \quad (40)$$

Donde:  $\rho_1 + \rho_2 = 1$ . Estos coeficientes representan el peso de cada variable, establecido por asignación directa. La propuesta inicial sería  $\rho_1 = 0.5$  y  $\rho_2 = 0.5$

Función de valor: La función de valor prevista es una función creciente y lineal, pues el valor de la satisfacción aumenta a medida que se incrementa la aceptación de la inversión. El punto de mínima aceptación será de (1;0) y el de máxima a (5; 1).

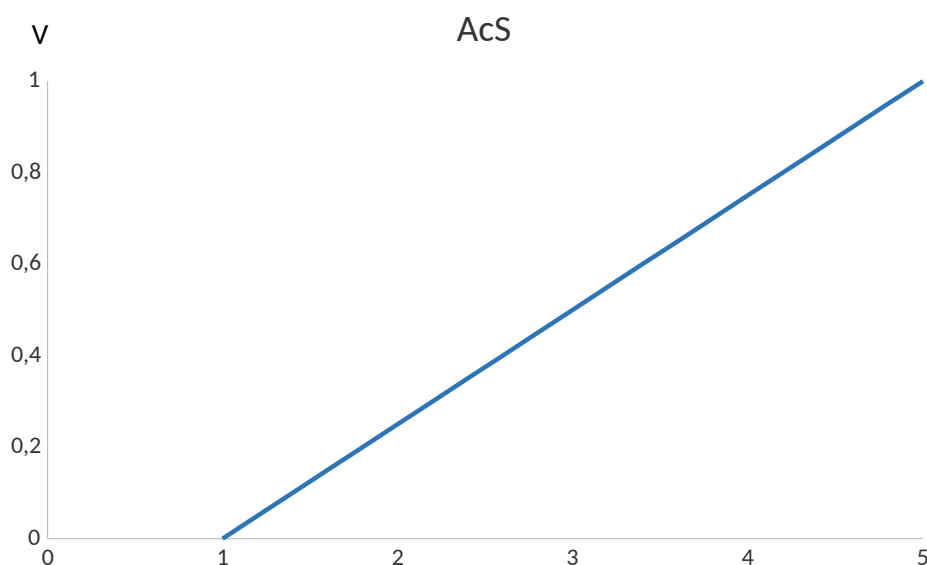


Figura 4.12. Función de valor ACS

$$V = 2,500 \cdot \left[ 1 - e^{-2 \left( \frac{|X-1|}{1,000} \right)^{(1)}} \right] \quad (41)$$

#### 4.3.4. Asignación de pesos FASE II

El resultado final del ISPIM de cada una de las inversiones se obtiene gracias al sumatorio del valor de cada indicador,  $IV_j (A_j, x)$ , ponderado en tres niveles, integrando el peso relativo de cada indicador, criterio y requerimiento, según se muestra tanto en el árbol de requerimientos de la Figura 4.4 como la ecuación 22. Los pesos de los requerimientos se obtienen de ajustar los valores obtenidos mediante el proceso AHP, mientras que los pesos de criterios e indicadores, son resultado de la asignación directa.

Matriz de comparación. Los criterios escogidos se basan en los elementos básicos de la sostenibilidad:

	Req. Económico	Req. Ambiental	Req. Social
Req. Económico	1	2	1
Req. Ambiental	1/2	1	1/2
Req. Social	1	2	1

Tabla 4.19. Comparación entre pares de atributos, Fase I.

Consistencia de la matriz. El AHP mide la consistencia global de una matriz de comparación con la Relación de Consistencia (R.C) que debe ser menor al 10%. La R.C (ecuación 8) depende del índice de consistencia (ecuación 9) y del índice de consistencia aleatoria (Tabla 3.3), que para una matriz de 3x3 se 0.58.

$$n = 3$$

$$CA \text{ (matriz } 3 \times 3) = 0.58$$

$$\lambda_{\max} = 3$$

$$IC = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n - 1)} = \frac{(3 - 3)}{2} = 0 \quad (42)$$

$$PC = \frac{IC}{CA} = \frac{0}{0.58} = 0 \quad (43)$$

Cálculo de pesos. Nuevamente, se calcula el peso relativo de cada una de las variables, obteniendo la matriz normalizada (N), dividiendo cada elemento de la columna y de la matriz anterior por la suma de los elementos de su columna, y luego, estimando el vector de pesos calculando la media de cada fila de la matriz normalizada.

$$N = \begin{bmatrix} 0.40 & 0.40 & 0.40 \\ 0.20 & 0.20 & 0.20 \\ 0.40 & 0.40 & 0.40 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} w_{Ec} \\ w_{Amb} \\ w_{Soc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.40 \\ 0.20 \\ 0.40 \end{bmatrix}$$

Por tanto, los resultados de la asignación de pesos de la Fase II son los siguientes:

Requerimientos	Pesos $k_{Rt}$ (%)	Criterios	Pesos $k_{Cy}$ (%)	Indicadores $I_{Vj}$	Pesos $k_{Ij}$ (%)
Económico	40	Inversión	50	Costo Unitario Anual	50
		Co-financiamiento	50	Gastos de explotación	50
				Financiamiento externo	50
Ambiental	20	Impacto Ambiental	100	Contribución al medio ambiente	100
Social	40	Cambios en el servicio	50	Variación de la calidad	50
				Incremento de usuarios	50
		Impacto al entorno	50	Creación de puestos de trabajo	50
				Aceptación Social	50

Tabla 4.20. Resultados de la asignación de pesos de la Fase II.



## 5. CASO DE ESTUDIO: SANT BOI DEL LLOBREGAT

### 5.1. Validación de la metodología MIVES-ISPIM.

Para validar la metodología desarrollada para la obtención del Índice de Sostenibilidad del Plan de Inversiones Públicas para municipios de población menor a 100,000 habitantes se ha utilizado una selección de 30 proyectos que forman parte del PMIs del Ayuntamiento de Sant Boi de Llobregat.

Los técnicos de este Ayuntamiento, al ser los delegados responsables de la toma de decisiones, han trabajado junto al equipo de la UPC para definir los siguientes puntos:

- Elementos y jerarquía del árbol de decisión.
- Pesos de los elementos del árbol de toma de decisiones de las fases I y II.
- Proyectos del Plan de Inversiones Municipales del periodo 2015-2011 a ser evaluados.
- Valores a los indicadores y calificación de atributos necesarios para obtener el ISPM de cada una de las inversiones.

Para la valoración de los atributos y la recopilación de toda la información necesaria para cada proyecto, se desarrolló una ficha que fue llenada por los técnicos del Ayuntamiento para cada una de las 30 inversiones estudiadas (ver anexos).

La Tabla 5.1 muestra el listado de inversiones que se han analizado en este estudio, con una codificación que se les ha dado, sin ningún orden en particular.

Identi-ficación	Inversión	Distrito
I-1	Polígonos Industriales (actuaciones 1, 2 y 3)	7
I-2	Semáforo calle Benviure	2
I-3	Acceso calle Primero de Mayo desde la BV-2002	1
I-4	Reurbanización cruce P.Fortuny / Montevideo	3
I-5	Mejora espacio público en el entorno de la Parellada	4
I-6	Reurbanización cooperativa fases 2.1. y 2.2.	1
I-7	Urbanización rotonda Salvador Seguí/Gral.Prim	5
I-8	Urbanización rotonda Salvador Seguí/Av .Aragó	5
I-9	Reurbanización calle Lluís Pascual Roca	3
I-10	Conexión ciclable estación Sant Boi con río	3
I-11	Carril bici acceso Parque Ciclista	7
I-12	Aceras perimetrales Pl.Generalitat	2
I-13	Cruce Ignacio Barraquer / Menéndez Pidal	6
I-14	Mejora Pl.Asamblea de Cataluña	2
I-15	Pl.Rafael Alberti	1
I-16	Pl. de la República	3
I-17	Reurbanización calle Cristóbal Colón	4
I-18	Reurbanización calle Jaume Balmes	4
I-19	Reurbanización calle San Pedro	3
I-20	Mejoras en el Parque Muntanyeta	3
I-21	Calle Tabarca	5
I-22	Mejora aparcamiento Llor	1
I-23	Reurbanización calle Francesc Macià, fase 3	4
I-24	Reurbanización Pl. Forces Armadas	2
I-25	Desarrollo del Plan Local de Seguridad Vial	7
I-26	Mejora de las zonas de juegos infantiles	7



Identi-ficación	Inversión	Distrito
I-27	Desarrollo del Plan de Movilidad Urbana	7
I-28	Reurbanización y apertura calle Virgen del Pilar	3
I-29	Remodelación Pl.Catalunya	4
I-30	Semáforo Primero de Mayo	1


Tabla 5.1. Inversiones del PIMs incluidas en este estudio

### 5.1.1. Recopilación de información.

Una vez desarrollada la metodología, los datos necesarios para la evaluación de los indicadores para cada uno de los proyectos se realizó a través de una ficha como la que se muestra en la Figura 5.1, en la que se especificó los datos relevantes de la inversión, y los campos correspondientes a indicadores y atributos de calificación. Para mayor facilidad de uso, cada indicador fue dotado de una nota de descripción en la que se explica qué se está evaluando.

La ficha se estructura de la siguiente manera:

- Identificación y datos del proyecto.
- Datos económicos: presupuesto, plazo de ejecución, vida útil.
- Descripción del proyecto.
- Ubicación: barrio o distrito.
- Datos de relevancia de la actuación, que corresponden a los indicadores de la Fase de Homogeneización de la inversión: abasto, alineación con los ejes estratégicos de la ciudad, evaluación de la situación previa.
- Datos ambientales: atributos del impacto ambiental.
- Datos sociales: variación en la calidad en bienestar, incremento de usuarios, creación de puestos de trabajo, aceptación social.



**AJUNTAMENT DE  
SANT BOI DE LLOBREGAT**

**Polígons industrials (actuacions 1, 2 i 3)**

Número de projecte: 1

Data: 04/04/2017

Departament: Promoció econòmica

Responsable del projecte: Carmen Ruiz

Propietat del terreny: Municipal

**DADES ECONÒMIQUES**

	2016	2017	2018	2019	2020
Presupost total estimat en € (IVA inclòs)	1246231	1246231	0	0	0
Termini d'execució (en mesos)	6				
Vida útil (en anys)	<input type="radio"/> 1 any	<input type="radio"/> 5 anys	<input type="radio"/> 10 anys	<input checked="" type="radio"/> 25 anys	<input type="radio"/> 50 anys
Estat actual de l'actuació (en %)	<input checked="" type="radio"/> 0	<input type="radio"/> de 0 a 25	<input type="radio"/> de 25 a 50	<input type="radio"/> de 50 a 75	<input type="radio"/> més de 75
Increment de despeses en manteniment	<input type="radio"/> gran	<input checked="" type="radio"/> petit	<input type="radio"/> nul	<input type="radio"/> estalvi	<input type="radio"/> gran estalvi
Probabilitat d'aconseguir finançament extern (en %)	<input type="radio"/> menys de 20	<input type="radio"/> de 20 a 40	<input type="radio"/> de 40 a 60	<input type="radio"/> de 60 a 80	<input checked="" type="radio"/> més de 80
Quantitat de finançament extern (en %)	<input type="radio"/> menys de 10	<input type="radio"/> de 10 a 30	<input type="radio"/> de 30 a 50	<input checked="" type="radio"/> de 50 a 70	<input type="radio"/> més de 70


**DESCRIPCIÓ DEL PROJECTE:**

Dintre d'un marc de recessió econòmica, l'ÀMB ha tret una línia de subvencions per a la millora de la competitivitat dels polígons industrials. L'Ajuntament redacta aquest projecte amb la intenció de presentar-lo a la convocatòria.

**SITUACIÓ**

Bari: .....

Inserir una imatge representativa de la inversió



Adreça (si s'escau):

**DADES DE LA RELEVÀNCIA DE L'ACTUACIÓ**

**ABAST DE L'ACTUACIÓ**

Àmbit: ☐ puntual ☐ barri ☒ ciutat

Relevància de la inversió: ☐ complementària ☒ important ☐ imprescindible

**ALINEACIÓ DE L'ACTUACIÓ AMB ELS EIXOS ESTRATÈGICS DE LA CIUTAT**

Cobertura necessària bàsiques de la ciutadania: ☐ no avalua ☒ baixa ☐ mitja ☐ alta ☐ essencial

Millora del nivell educatiu de la població: ☒ no avalua ☐ baixa ☐ mitja ☐ alta ☐ essencial

Millora espai públic: ☐ no avalua ☐ baixa ☒ mitja ☐ alta ☐ essencial

Millora de la gestió dels residus urbans: ☒ no avalua ☐ baixa ☐ mitja ☐ alta ☐ essencial

Ciutat econòmicament atractiva: ☐ no avalua ☐ baixa ☒ mitja ☐ alta ☐ essencial

**AVALUACIÓ DE LA SITUACIÓ PRÈVIA**

Estat de conservació: ☐ no avalua ☐ conservada ☐ adequada ☒ feta malbé ☐ sense alternativa

Grau de proximitat: ☒ no avalua ☐ propera ☐ adequada ☐ allunyada ☐ sense alternativa

Obertura/obertura tècnica: ☐ no avalua ☐ actualitzada ☐ adequada ☒ obsoleta ☐ sense alternativa

Relatiu del servei actual: ☐ infrautilitzat ☐ correcte ☒ saturat ☐ sobrecapacitat ☐ sense servei

**DADES AMBIENTALS**

Millora en mitigació del canvi climàtic: ☐ no avalua ☒ baixa ☐ mitja ☐ alta ☐ essencial

Millora en l'adaptació al canvi climàtic: ☐ no avalua ☒ baixa ☐ mitja ☐ alta ☐ essencial

Millora en la gestió de residus: ☐ no avalua ☒ baixa ☐ mitja ☐ alta ☐ essencial

Millora en l'eficiència en l'ús de l'aigua: ☒ no avalua ☐ baixa ☐ mitja ☐ alta ☐ essencial

Millora de la qualitat de l'aire: ☐ no avalua ☒ baixa ☐ mitja ☐ alta ☐ essencial

Millora de la qualitat acústica: ☐ no avalua ☒ baixa ☐ mitja ☐ alta ☐ essencial

Millora de la biodiversitat i els espais verds: ☐ no avalua ☐ baixa ☐ mitja ☐ alta ☐ essencial

Millora en l'adequació paisatgística: ☒ no avalua ☐ baixa ☐ mitja ☐ alta ☐ essencial

**DADES SOCIALS**

**VARIACIÓ DE LA QUALITAT EN BENESTAR**

Millora de la seguretat: ☐ no avalua ☐ baixa ☒ mitja ☐ alta ☐ essencial

Millora de l'accessibilitat, comoditat i mobilitat: ☐ no avalua ☐ baixa ☒ mitja ☐ alta ☐ essencial

Millora de la cultura, educació i lleure: ☒ no avalua ☐ baixa ☐ mitja ☐ alta ☐ essencial

Millora de la salut, higiene i promoció de l'esport: ☐ no avalua ☐ baixa ☐ mitja ☐ alta ☐ essencial

Millora en la perspectiva de gènere: ☒ no avalua ☐ baixa ☐ mitja ☐ alta ☐ essencial

Millora de la cohesió social: ☒ no avalua ☐ baixa ☐ mitja ☐ alta ☐ essencial

**INCREMENT DE CIUTADANS QUE EN FARAN ÚS**

Variació de la capacitat: ☐ molt baixa ☒ baixa ☐ mitja ☐ alta ☐ molt alta

**CREACIÓ DE LLOCOS DE TREBALL**

**FASE DE CONSTRUCCIÓ**

Llocs de treball (en jornades de 8 hores): ☐ de 0 a 5 ☒ de 5 a 25 ☐ de 25 a 50 ☐ de 50 a 100 ☐ més de 100

Llocs de treball per ciutadania social: ☐ si ☒ no

**FASE D'EXPLOTACIÓ**

Llocs de treball (en jornades de 8 hores): ☒ de 0 a 5 ☐ de 5 a 25 ☐ de 25 a 50 ☐ de 50 a 100 ☐ més de 100

Llocs de treball per ciutadania social: ☐ si ☒ no

**GRAU D'ACCEPTACIÓ SOCIAL**

Promoció ciutadania: ☒ molt baixa ☐ baixa ☐ mitja ☐ alta ☐ molt alta

Acceptació social: ☐ molt baixa ☐ baixa ☒ mitja ☐ alta ☐ molt alta

Figura 5.1. Ficha de recopilación de información ISPIM Sant Boi de Llobregat

### 5.1.2. Resultados FASE I: Homogeneización de la inversión (HI).

Esta fase permite incorporar la situación previa de la necesidad que se pretende satisfacer con el nuevo proyecto y la capacidad que tiene éste de satisfacerla. En esta fase se consideran los factores: Contribución al Equilibrio Territorial (CET), Abasto de la Actuación (AbA), Evaluación de la Situación Previa (ESP) y la alineación del proyecto con los Valores Sant Boi (VSB), para determinar el Índice de Homogeneización de la inversión (HI). Los resultados se presentan en la Figura 5.2.

Las inversiones con mayor HI son aquellas que están en zonas de la ciudad con déficit de inversión, que tienen el potencial a alcanzar a la mayor parte de la ciudad, cuyo servicio actual es deficiente o inexistente, y que además, son proyectos que aseguran alcanzar la visión de ciudad que sus líderes y ciudadanía se han propuesto. La Figura 5.3 muestra el aporte relativo de los factores en el resultado total del HI.

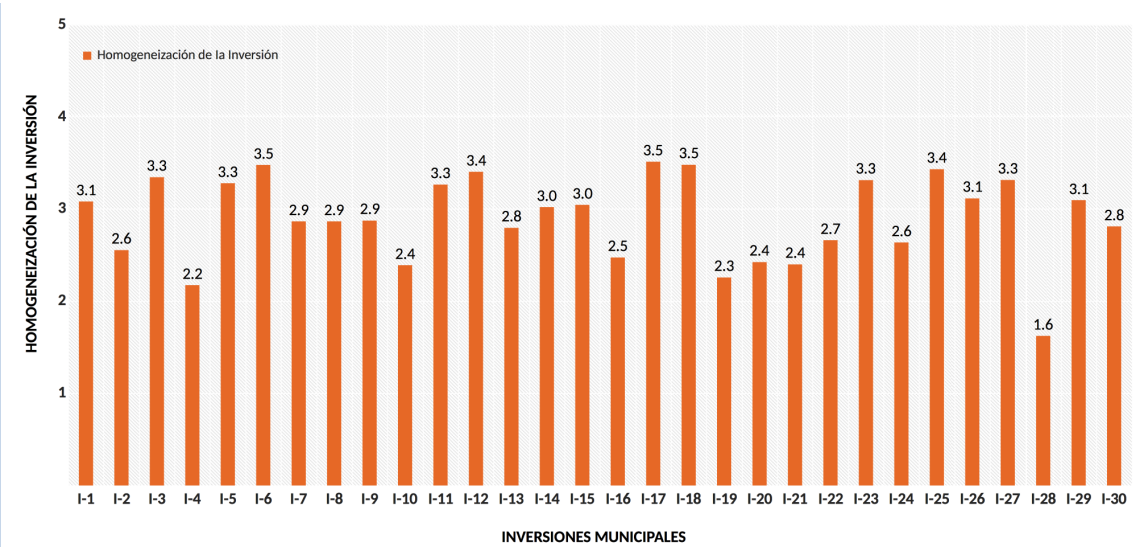


Figura 5.2. Homogeneización de Inversión.

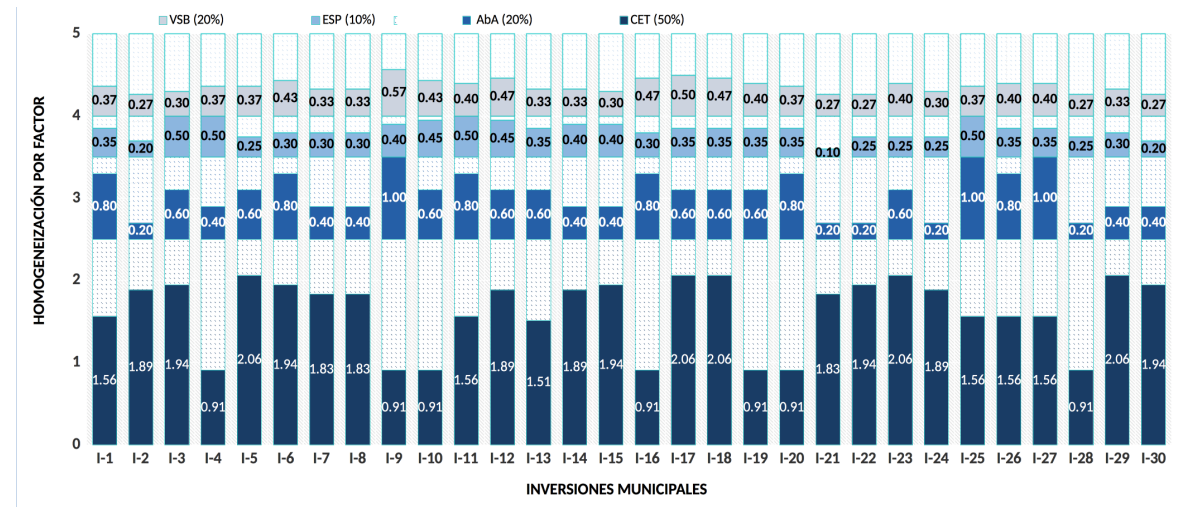


Figura 5.3. Homogeneización de la inversión por factores.

### 5.1.3. Resultados FASE II.

En este apartado se presentan los resultados del Índice de Sostenibilidad ISPIM en base a los requerimientos definidos en el árbol de decisión, los pesos asignados por los técnicos del Ayuntamiento y la calificación de atributos realizada a través de las fichas antes descritas. El aporte relativo de los requerimientos al resultado total del ISPIM se muestra en la Error: Reference source not found

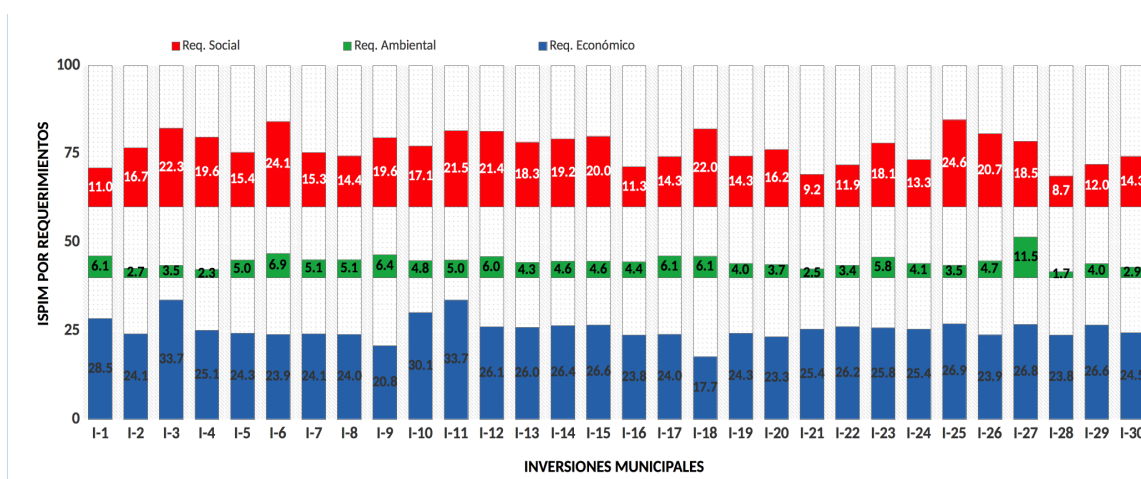


Figura 5.4 ISPIM por requerimientos

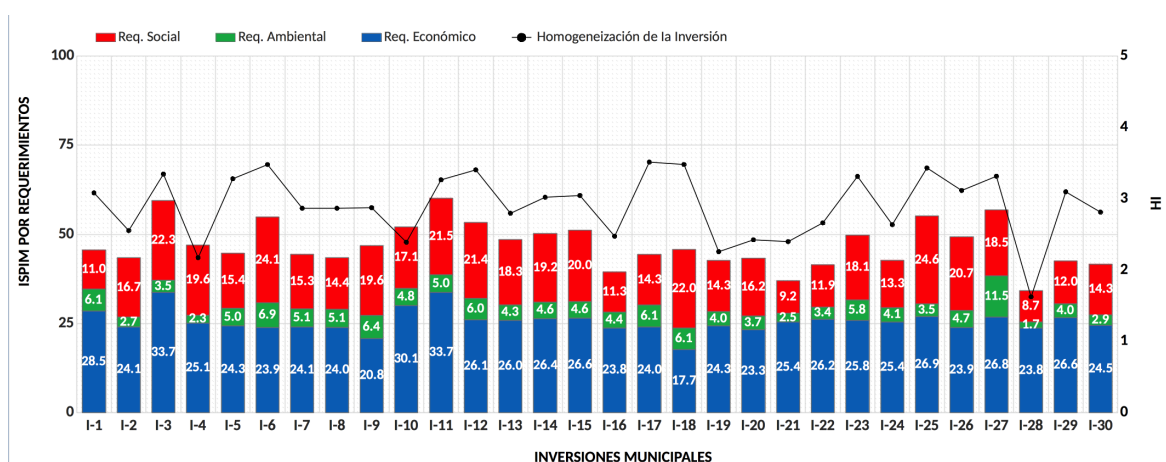


Figura 5.5. ISPIM agregado por requerimientos y HI total

La Figura 5.5 muestra el ISPIM agregado por requerimientos, y además el HI de cada inversión. Así se puede observar los puntos fuertes y débiles de cada inversión, en los elementos de las sostenibilidad analizados, y además, relacionarla con el valor obtenido en la fase I.

#### 5.1.4. Priorización de Inversiones Municipales.

El ISPIM de las inversiones analizadas ha sido ordenado de mayor a menor para mostrar el posible orden de priorización de las inversiones más sostenibles. Además, la Figura 5.6 muestra la HI de manera que sea posible relacionar la necesidad del proyecto, con su sostenibilidad.

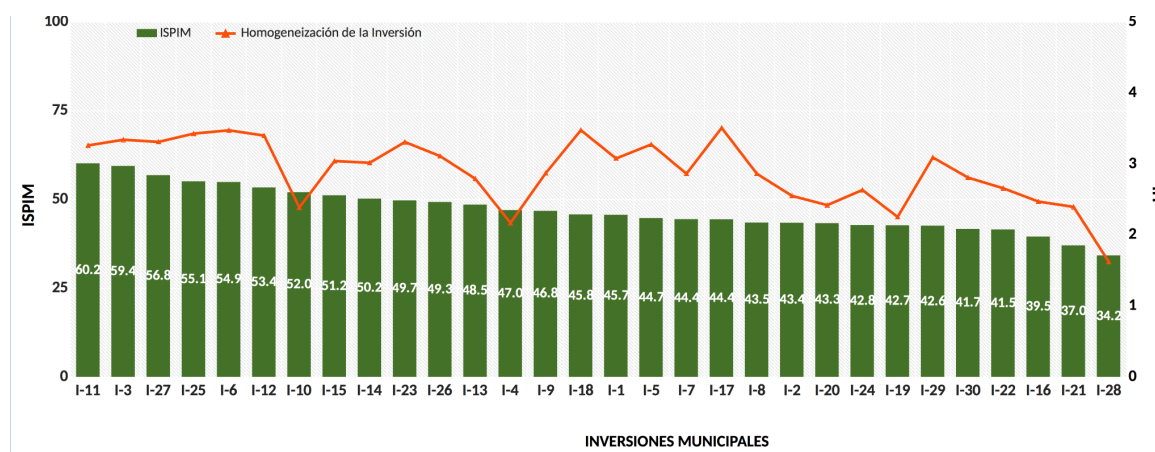


Figura 5.6. Priorización de inversiones por ISPIM

El rango de ISPIM va de 60,2 (I-11) para la inversión más sostenible, hasta 34, 2 (I-28) para el proyecto menos sostenible.

Hay que mencionar, que según los rangos de la Tabla 4.1, la gran mayoría de las inversiones están dentro del Nivel C de Sostenibilidad, ( $60 \leq \text{isPIM} < 40$ ), por lo que para priorizar los proyectos más sostenibles, se recomienda tomar como valor de referencia un ISPIM mayor a 50.

La Tabla 5.2 muestra los resultados de priorización de las inversiones del PIMs analizado. Algunas de las inversiones con mayor índice de sostenibilidad son las relacionadas con la movilidad no motorizada. Las seis inversiones mejor puntuadas cuentan con una Homogeneización de la inversión similar. Inversiones como I-10 que es la conexión ciclable de la estación con el río, a pesar de tener un HI bajo por estar en una zona que ha recibido mucha inversión (Distrito 3), tiene un ISPIM elevado por su bajo coste y positivo impacto social y ambiental.

Rango ISPIM	Orden	Inversiones	
A ( $100 \leq \text{ISPIM} < 80$ )	-	-	-
B ( $80 \leq \text{ISPIM} < 60$ )	1	I-11	Carril bici acceso Parque Ciclista
	2	I-3	Acceso calle Primero de Mayo desde la BV-2002
C ( $60 \leq \text{ISPIM} < 40$ )	3	I-27	Desarrollo del Plan de Movilidad Urbana
	4	I-25	Desarrollo del Plan Local de Seguridad Vial
	5	I-6	Reurbanización cooperativa fases 2.1. y 2.2.
	6	I-12	Aceras perimetrales Pl.Generalitat
	7	I-10	Conexión ciclable estación Sant Boi con río
	8	I-15	Pl.Rafael Alberti
	9	I-14	Mejora Pl.Asamblea de Cataluña
	10	I-23	Reurbanización calle Francesc Macià, fase 3

Tabla 5.2. Clasificación de inversiones por Índice de Sostenibilidad para priorización.

## 5.2. Estudio de Sensibilidad.

Esta sección evalúa la sensibilidad de la metodología a los pesos asignados, tanto para los factores de Fase I, como a los requerimientos de la Fase II, para ello se plantean diferentes escenarios de asignación de importancia o pesos, y se vuelve a calcular los Índices de Homogeneización de la inversión y de Sostenibilidad para todas las inversiones analizadas.

### 5.2.1. Estudio de Sensibilidad Fase I.

Para estudiar la sensibilidad del índice HI en relación a los pesos de los factores CET, AbA, VSB y ESP se realiza la comparación de los 3 escenarios presentados en la Tabla 5.3:

	CET	AbA	VSB	ESP
Escenario 1	50	20	20	10
Escenario 2	20	50	10	20
Escenario 3	25	25	25	25

Tabla 5.3. Escenarios planteados para el Estudio de Sensibilidad de la Fase I

El primero escenario es el que fue escogido por los tomadores de decisiones, y aplicado al cálculo del ISPIM en este caso práctico. El escenario 2 muestra el caso en que una administración priorice el alcance de la actuación por sobre los otros factores de homogeneización, mientras el escenario 3 muestra el caso en que todos los factores sean considerados igual de importantes.

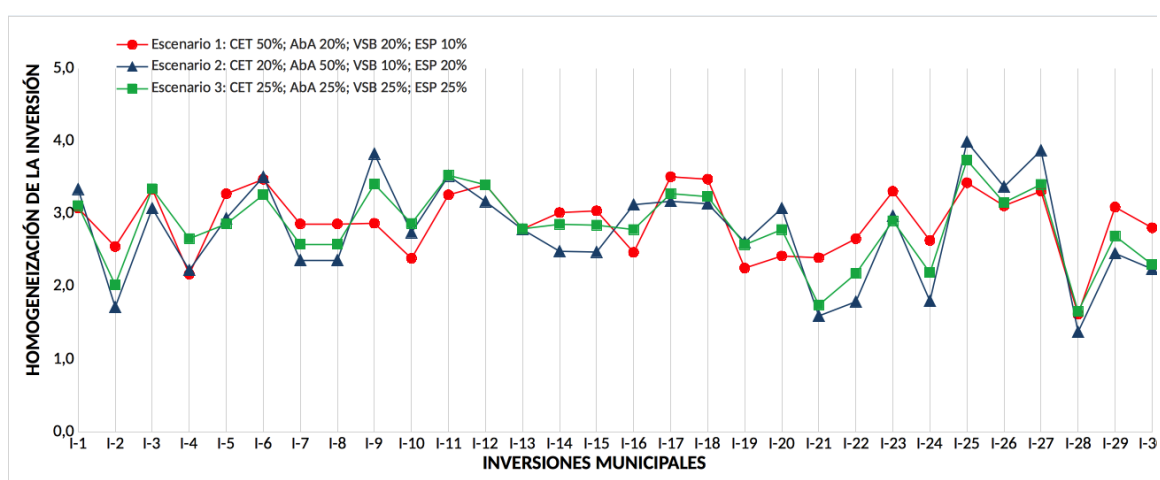


Figura 5.7. Varición de HI por alternativa para tres escenarios distintos

La Figura 5.7 muestra que si bien los valores de HI varían ligeramente, los valores relativos son bastante consistentes. Las inversiones que se realizan en territorios con mayor inversión y bienestar (distrito 3) tenderán a tener un HI más alto cuando el factor CET es menos importante que el escenario 1, en el que se le asignó un 50% de importancia.



### 5.2.2. Estudio de Sensibilidad Fase II.

Para estudiar la sensibilidad del ISPIM en relación a los pesos de los requerimientos económico, ambiental y social se realiza la comparación de los 3 escenarios diferentes. El escenario 1 es el correspondiente a los pesos escogidos en la validación por los tomadores de decisiones, el escenario 2 representa un caso en el que los tomadores de decisiones (otra administración) dé mucha mayor importancia al requerimientos económico, por ejemplo, en un escenario de crisis económica. El escenario 3 muestra otro tipo de visión, en el que se da prioridad a los aspectos socio-ambientales. La Tabla 5.4 muestra los pesos utilizados para el análisis de sensibilidad de la metodología.

	Req. Económico	Req. Ambiental	Req. Social
Escenario 1	40	20	40
Escenario 2	50	20	30
Escenario 3	20	40	40

Tabla 5.4. Escenarios planteados para el Estudio de Sensibilidad de la Fase II

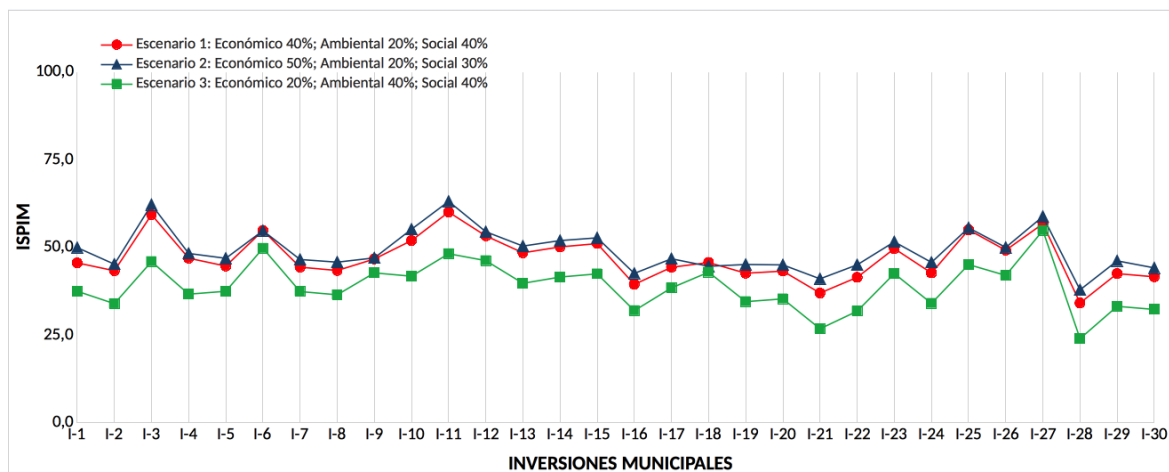


Figura 5.8. Variación de valor del ISPIM por alternativa para tres escenarios distintos

La Figura 5.8 muestra los cambios en el valor total del ISPIM para las inversiones analizadas. Vemos que en general, cuando el aspecto económico pasa a tener menor importancia, el valor del ISPIM disminuye para todas las inversiones. Esto sucede porque



una parte importante de las inversiones está relativamente bien puntuada en el requerimiento económico. Igual que en la fase 1, vemos que la puntuación relativa de las inversiones se mantiene.

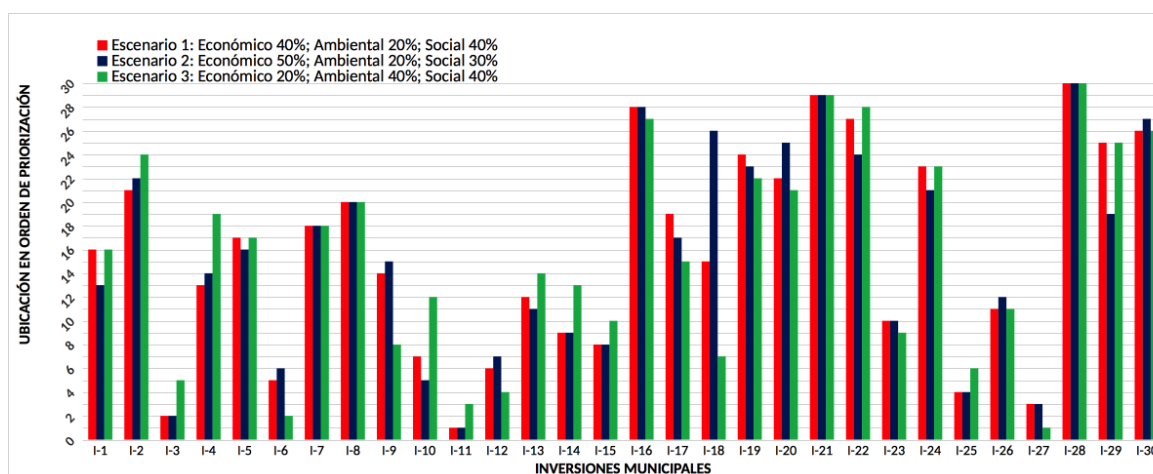


Figura 5.9. Variación de la prioridad por ISPIM para tres escenarios distintos.

Como muestra la Figura 5.9 la gran mayoría de las inversiones se mantienen alrededor de las mismas posiciones en su orden de priorización. Un caso que llama la atención es el de la inversión I-18 (Reurbanización calle Jaume Balmes) que por ser la de mayor coste unitario anual, cuando es analizada desde una perspectiva en que los requerimientos económicos son los más importantes, queda relegada a las posiciones finales (puesto 27), siendo altamente sensible ante esta variación.



## 6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 6.1. Discusión.

La Fase I de la metodología planteada homogeneiza las alternativas planteadas, al incluir elementos como la contribución al equilibrio territorial, su alcance territorial, la evaluación de la situación actual y los valores de la ciudad. Esta fase es crucial en el trabajo, porque asimila la función de la inversión pública, de ser racional y beneficiar de forma equitativa a la población, tomando en cuenta sus necesidades.

La contribución al equilibrio territorial, CET, se ha calculado en función del monto de la inversión en los últimos 2 periodos de gobierno. La inclusión de un periodo mayor podría distorsionar los resultados, ya que la composición de los otros elementos de su cálculo, seguramente ha variado significativamente en la última década. Otro elemento del CET es la densidad de población, que se ha calculado en función de la superficie efectiva donde se concentra la población, de manera que en los distritos más rurales se han excluido las áreas agrícolas, porque de otra manera resultarían perjudicados al tener una muy baja densidad de población. Una alternativa que podría plantearse en este u otro caso, es analizar las áreas rurales e industriales, en los que la población existente es casi nula, como distritos por separado. En estos casos, la densidad de población sería una variable no considerada, o que tenga menor influencia en el cálculo.

Por otro lado, en las zonas céntricas podría considerarse un factor de población flotante, ya que en éstas se concentra la actividad comercial, sservicios públicos y privados, por lo que normalmente estas zonas requieren mayor inversión que las zonas residenciales.

La adaptación metodológica de MIVES y la valoración de los indicadores por atributos resulta sencilla para los tomadores de decisiones, sin embargo, cuando se utiliza un atributo como No Aplica, que deja fuera del análisis una variable o indicador, suele confundirse con una calificación baja, por tanto, su uso debe ser examinado con cuidado.

Algunos de los indicadores han sido valorados en función de muchas variables, este es el caso de la Contribución al Medio Ambiente. Cuando esto sucede, la valoración global de indicador suele ser baja, ya que cada inversión hará su aporte sólo en algunos de los campos que estamos valorizando. En estos casos se ha considerado la suma, o el promedio de al menos la mitad de las variables, considerando únicamente las que obtuvieron una puntuación mayor, de manera que el resultado represente de forma significativa el aporte del proyecto al indicador global.

Las funciones de valor utilizadas fueron construidas en función de experiencias previas, sin embargo en la adaptación de la metodología fue necesario hacer algún cambio en la de forma, más no de tendencia, de la función, considerando la visión de los tomadores de decisiones. La manipulación de las funciones de valor suele ayudar a que los resultados de una variable sean más visibles, pero no distorsiona el sentido y la proporción de la valoración.

## **6.2. Conclusiones.**

- Las técnicas de toma de decisiones son herramientas que permiten mecanizar una actividad humana que resulta compleja cuando los puntos de vista y la cantidad de información es amplia y variada. Tomando en cuenta esto, estas herramientas no son infalibles. Dependiendo de la naturaleza de la decisión, una herramienta podrá ser más apropiada que otra.
- El último nivel en la toma de decisiones, los indicadores, son elementos que permiten valorar cualitativamente las alternativas analizadas. Los indicadores de sostenibilidad urbana están lejos de estar estandarizados, por ello resulta poco práctico estandarizar el árbol de requerimientos a este nivel, y más bien es necesario adaptar la metodología a los indicadores que se utilizan en el caso concreto de la institución que realiza el estudio.

De este análisis se desprende también la utilidad del uso de atributos para calificar los elementos de la toma de decisión que no se encuentran definidos de forma cuantitativa en inversiones que se encuentran en fase de concepción.

- El Método Integrado de Valor para Evaluaciones Sostenibles ha sido adaptado a la realidad del caso de estudio: árbol de requerimientos, importancia relativa de los elementos de toma de decisión, y funciones de valor, éstas últimas fueron construidas en base a experiencias previas, de manera que la respuesta obtenida sea compatible y significativa.

Todos estos elementos quedaron definidos de forma previa a la definición de las inversiones a analizar, de manera que la elección de estos sea independiente de la metodología establecida, y que nuevas inversiones puedan ser evaluadas bajo esta misma metodología.

- La validación de la metodología a través del caso de estudio muestra la clara influencia de la Fase I (Homogeneización de la inversión), sobre la Fase II (Índice de sostenibilidad). Siendo la HI un factor que afecta de forma directa, o inversa, a los indicadores de sostenibilidad, dependiendo de la forma y tendencia de la función de valor.

Dentro de la Fase I, el factor más influyente es la Contribución al Equilibrio Territorial (CET), ya que al comparar las características de cada territorio (extensión, población y bienestar de la población), respecto a los demás, siempre existirá un distrito o barrio que se encuentra en el límite inferior del rango, en cuyo caso, todas las inversiones que se desarrollen en este territorio se supondrán menos necesarias. En el caso de estudio, el CET fue el valor con mayor peso entre los factores de HI, ahondando aún más este efecto.

- El análisis de sensibilidad permite afirmar que el método funciona de manera consistente, y que las inversiones que son más sostenibles, siguen apareciendo como tales ante escenarios políticos distintos (cambios en la importancia que se da a los requerimientos de sostenibilidad) a los utilizados en este caso.

Así, el ISPIM es un método claro, simple y repetible para servir de base al desarrollo urbano sostenible.

- Los resultados fueron avalados y acogidos de forma positiva por los responsables técnicos del Ayuntamiento de Sant Boi de Llobregat, al estar en concordancia con su experiencia práctica.



## BIBLIOGRAFÍA

- Aguado, A. et al., 2015. *Índex de sostenibilitat del pla d'inversions municipals (isPIM)*, Barcelona.
- Aguado, A. et al., 2012. Sustainability Assessment of Concrete Structures within the Spanish Structural Concrete Code. *Journal of Construction Engineering and Management*, (February), pp.268–276.
- Ajuntament de Sant Boi de Llobregat, 2017. Ajuntment de Sant Boi de Llobregat. Available at: [www.santboi.cat](http://www.santboi.cat) [Accessed March 23, 2017].
- Alarcon, B. et al., 2011. A value function for assessing sustainability: Application to industrial buildings. *Sustainability*, 3(1), pp.35–50.
- Alarcón, B., 2005. *Modelo integrado de valor para estructuras sostenibles*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Arandes, R., 2016. Ingeniería de la ciudad inteligente.
- Barba-Romero, S., 1987. Panorámica Actual de la Decisión Multicriterio Discreta. *Investigaciones Económicas*, IX(2), pp.279–308.
- Berrone, P. & Ricart, J.E., 2015. *Índice IESE Cities in Motion*, Navarra. Available at: [www.iese.edu](http://www.iese.edu).

- Berumen, S. a & Llamazares, F., 2007. La utilidad de los métodos de decisión multicriterio (como el AHP) en un entorno de competitividad creciente. *Cuadernos de Administración*, 20(34), pp.65–87. Available at: <http://www.scielo.org.co/pdf/cadm/v20n34/v20n34a04.pdf>.
- Brundtland, G. et al., 1987. *Nuestro Futuro Común (Informe Brundtland)*.
- Bulkeley, H. & Betsill, M.M., 2005. Rethinking Sustainable Cities: Multilevel Governance and the “Urban” Politics of Climate Change Rethinking Sustainable Cities: Multilevel Governance and the “Urban” Politics of Climate Change. *Environmental Politics*, 14(October), pp.42–63. Available at: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=slh&AN=15963153&site=ehost-live>.
- Casanovas, M. del M., 2009. *Optimización global del procedimiento constructivo de grandes viaductos*.
- Cellini, S.R. & Kee, J.E., 2010. Cost-effectiveness and cost-benefit analysis. In *Handbook of practical program evaluation*. pp. 493–530.
- Commonwealth of Australia, 2006. Introduction to Cost-Benefit Analysis and Alternative Evaluation Methodologies., (5).
- Dodgson, J. et al., 2009. *Multi-criteria analysis: a manual*, London: Department for Communities and Local Government: London. Available at: [www.communities.gov.uk](http://www.communities.gov.uk).
- Doumpos, M. & Zoppounidis, C., 2004. *Multicriteria Decision Aid Classification Methods*, New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow: Kluwer Academic Publishers.
- Echebarría, C. & Moralejo, I., 2003. La planificación urbana sostenible. *Sustainable urban Planning*, 1, pp.643–660.
- Fondos Estructurales, Fondo de Cohesión & ISPA, 2003. *Guía del análisis costes-beneficios de los proyectos de inversión*.



- Garrucho, I., 2006. *Desarrollo de una metodología para el proceso de diseño sostenible de edificaciones industriales bajo requerimientos medioambientales*. Universidad Politécnica del País Vasco.
- Gómez Lopez, D., 2012. *Evaluación de la sostenibilidad teniendo en cuenta la incertidumbre*. Universidade da Coruña. Departamento de Enxeñaría Industrial II.
- Johns, J., 2014. Cost-effectiveness and cost-benefit analysis of governance and anti-corruption activities. *U4 ISSUE*, (10).
- Kiker, G.A. et al., 2005. Application of Multicriteria Decision Analysis in Environmental Decision Making. , 1(2), pp.95–108.
- Leon, O.G., 2001. *Tomar decisiones difíciles*, Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.
- Levin, H.M., 1995. Cost-effectiveness Analysis. *International Encyclopedia of Economics of Education*, 2, pp.381–386.
- Pardo-Bosch, F., 2014. *Gestión integral de obras hidráulicas de hormigón : del diagnóstico a la inversión*. Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d'Enginyeria de la Construcció.
- Pujadas, P. et al., MIVES Multicriteria Approach for the Evaluation Priorization and Selection of Public Investment Projects. Barcelona City Case Study. *Submitted to Land Use Policy Journal*.
- Pulido, A., 2008. *Optimización de los pavimentos industriales desde una perspectiva sostenible y aplicación de la herramienta MIVES*. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.
- Quiroga, R., 2007. *Indicadores ambientales y de desarrollo sostenible: avances y perspectivas para América Latina y el Caribe* CEPAL. Nac., Santiago de Chile.
- Quiroga, R., 2001. *Indicadores de Sostenibilidad Ambiental y de Desarrollo Sostenible: Estado del Arte y Perspectivas*, Available at:  
<http://www.uv.mx/mie/files/2012/10/SESSION-7-Quiroga-Indics-Sost-Amb-y-DS-CEPAL-16.pdf>.

- Red de Redes de Desarrollo Local Sostenible, 2011. *Aplicación y Valoración de los Resultados del Sistema Municipal de Indicadores de Sostenibilidad en Cuatro Municipios*.
- Ríos-Insua, S. & Rios-Insua, M.J., 1989. *Procesos de decisión Multicriterio*, Madrid.
- Roy, B., 1985. *Méthodologie multicritère d'aide à la décision Économica*.
- Roy, B., 1991. The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods. Theory and decision.
- Saaty, T., 1980. *The Analytic Hierarchy Process*, Pittsburgh.
- Tanguay, G. et al., 2010. Measuring the Sustainability of Transport. *Ecological Indicators*, 10 (2), p.407–418. Available at:  
<http://dx.doi.org/recursos.biblioteca.upc.edu/10.1016/j.ecolind.2009.07.013>.
- Trigueros, M.A., 2008. An Analysis of Project Prioritization Methods at the Regional Level in the Seventy-five largest metropolitan areas in the United States of America. *Environmental Engineering*, (December).
- Universidad Politècnica de Catalunya, 2009. Manual MIVES.
- Vincke, P., 1992. *Multicriteria decision-aid*.
- Viñolas Prat, B. et al., 2009. MIVES: modelo integrado de valor para evaluaciones de sostenibilidad. , (August 2016), pp.1–24. Available at:  
<http://upcommons.upc.edu/handle/2117/9704>.
- Wallbaum, H., Krank, S. & Teloh, R., 2011. Prioritizing Sustainability Criteria in Urban Planning Processes : Methodology Application. *Database*, 137(March), pp.20–28.

## ANEXOS



## **ANEXO 1. FICHAS DE EVALUACIÓN DE LAS INVERSIONES MUNICIPALES.**



## **ANEXO 2: PLANOS DE LOS DISTRITOS DE SANT BOI DE LLOBREGAT.**

